雙月刊

核能簡訊

NUCLEAR NEWSLETTER



電動車 真的環保嗎？

福島事故七週年──日本高中生揭露福島輻射劑量的驚人事實
福島事故七週年──日本醫師的福島觀察
德國是現今歐洲最大的溫室氣體排放國
美國公用事業管制協會呼籲重啟雅卡山處置計畫執照審查
瑞典高放廢棄物處置場獲得管制機構正面回覆



核能簡訊 NUCLEAR NEWSLETTER

NO.171 雙月刊

APRIL 中華民國一〇七年四月號

封面故事

1 電動車真的環保嗎？ 編輯室

專題報導

8 世界各國後端營運的公眾溝通 編輯室

讀者論壇

12 核電廠除役計畫的前置規劃 洪國鈞

熱門話題

14 德國是現今歐洲最大的溫室氣體排放國 編輯室

17 日本高中生揭露福島輻射劑量的驚人事實 張文杰

23 日本醫師的福島觀察 中川惠一

健康快遞

30 照得不偏不倚、劑量不多不少
核子醫學的標靶藥物與輻射品保 編輯室

核能脈動

34 日本首次發現顆粒狀放射性物質 編輯室

35 俄羅斯浮動式核電廠獲准運轉 編輯室

36 美國公用事業管制協會呼籲重啟雅卡山
處置計畫執照審查 編輯室

37 瑞典高放廢棄物處置場獲得管制機構正面回覆 編輯室

核能新聞

38 國外新聞 編輯室

41 國內新聞 編輯室

科普一下

42 什麼是「放射性」和「輻射」（七） 朱鐵吉

出版單位：財團法人核能資訊中心
地　　址：新竹市光復路二段一〇一號
電　　話：（03）571-1808
傳　　真：（03）572-5461
網　　址：http://www.nicenter.org.tw
E-mail：nicenter@nicenter.org.tw
發 行 人：朱鐵吉
編輯委員：李四海、汪曉康、陳條宗、郭瓊文、劉仁賢、謝牧謙（依筆畫順序）
主　　編：朱鐵吉
文　　編：鍾玉娟、翁明琪、林庭安
執　　編：羅德禎
設計排版：長榮國際　文化事業本部
地　　址：台北市民生東路二段 166 號 6 樓
電　　話：02-2500-1175
製版印刷：長榮國際股份有限公司　印刷廠
行政院原子能委員會敬贈　廣告
台灣電力公司核能後端營運處敬贈　廣告

編者的話

近日來最熱門的新聞就屬核二廠 2 號機確定再運轉了，這也讓外界關注是否會有更多的核電機組隨之再運轉。台電表示，核二廠 2 號機是近年唯一會重新回來的核電機組；核一廠則不可能申請再啟動，因為 1 號機今年 12 月就要除役，2 號機明年也要跟著除役。為了不到半年的運轉時間申請重啟，並不是很有效益，因此台電沒有這個規劃。

再來是深澳電廠，它曾經是台灣發電量最大的電廠，同時也是台灣首座大型發電廠，已於 2007 年除役。1960 年深澳電廠第一部機組併聯發電，是台灣第一個採用高壓高溫再熱機組的火力電廠，當年還是全球最先進的發電設備，也曾是二戰後東南亞發電量最大的電廠。台電預計在原址擴大興建成為超超臨界壓力燃煤機組，但民眾認為深澳岬角卸煤專用碼頭將影響當地生態，而新北市政府認為燃煤電廠將會使北部空氣品質惡化，因而反對台電的擴建計畫。

1980 年開始的核四計畫，歷經暫緩興建、廢核、停建、再復工、又停工封存，建置成本達新台幣 2,838 億元，過程長達 37 年。台電表示，核四不會啟封，未來將轉型為綜合電力園區；當初採購的 1,744 束核燃料棒，金額約新台幣 80 億元，今年 6 月起將分批運回美國原廠──全球核燃料公司進行拆解，預計花費金額在新台幣 7 億元以內，後續每年約可減少 1 億元的資產維護管理費用。

能源問題不只是台灣急待解決的課題，世界各國因空氣污染與地球暖化也積極設法解決，電動車便應運而生；期望藉由減少化石燃料的使用，可以同時減少廢氣排放，改善空氣品質；但是電動車所使用的電力來源同樣依賴於能源的產生方式，所以電動車是否真的環保，未來還有待檢驗。

福島事故至今已屆 7 週年，許多長期研究報告漸漸展現結果。事故對於人的實質傷害並沒想像中嚴重，但因為事故所衍生的心理問題反而造成生理問題的顯現。福島高中生所進行的研究結論發現，福島地區的背景輻射劑量遠遠低於預期，此論文已獲得國際間的高度重視。而長期在福島地區，為當地居民健康把關的中川惠一醫師表示，避難者的健康狀況比留在災區的民眾要差，出現「為了預防癌症而避難，卻因此有罹癌之虞」的現象。中川醫師呼籲，我們應對風險的標準有正確的觀念，並記取人類歷史給我們的寶貴經驗。

電動車真的環保嗎？

文・編輯室



▲圖片來源：moneysmart.sg

由於空氣污染與能源枯竭的問題日益嚴重，許多國家積極推動電動交通工具的研發與應用，並實施多項獎勵措施，希望減少傳統交通工具這種移動式空氣污染源所排放的廢氣，也可降低對石油的依賴。一時間，電動車的後市看好，眾人無不寄予厚望。但是，電動車的動力來源是電，也必須藉由電池蓄電，因此充電的電力來源是否真的潔淨，製造電池本身的過程、使用的材料是否會對環境造成傷害，都是電動車是否真正環保的重要關鍵。

一項德國的研究指出，全球目前有 320 萬輛電動車，2017 年上路的電動車數量較前一年大幅成長 55%，中國就占了 120 萬輛，排名第 1，其次是美國的 75 萬輛，日本和挪威排名第 3 和第 4，分別有 20 萬和 19 萬輛。

深受霧霾所苦的中國，在政府雷厲風行推動電動交通工具數年來，空氣品質已有明顯改善，因此 3 月 5 日在北京召開的第 13 屆全國人民代表大會第一次會議，大陸國務院總理李克強在開幕式作政府工作報告時，提出多項「惠企」措施，為新能源車行業送出大禮，李克強宣布購置新能源汽車免徵車輛購置稅的優惠政策繼續延長 3 年，此外也將調降工商業電價 10%。

然而台灣的空氣污染卻是日益惡化，根據環保署追蹤國內懸浮微粒 PM2.5 來源的比例，境外傳入僅占 1/3，其中絕大多數都是台灣自行生產；而境內污染則是以工業的固定式污染

為大宗，汽機車和柴油車這些移動式污染源也是「貢獻良多」。固定式和移動式污染源所排放出的廢氣，都是容易致癌的成分。

根據環保署資料，目前移動式汙染源占懸浮微粒 PM2.5 總量約 37%。政府為降低空氣污染對國民健康的危害，行政院長賴清德於 2017 年 12 月 21 日在立法院做施政報告時指出，行政院已核定「空氣污染防制行動方案」，明確訂定 2019 年的空污紅害日數減半、2030 年公務車輛及公車全面電動化，2035 年全面禁售燃油機車，以及 2040 年全面禁售燃油汽車等目標，2050 年時台灣將全面進入電動交通工具的時代。

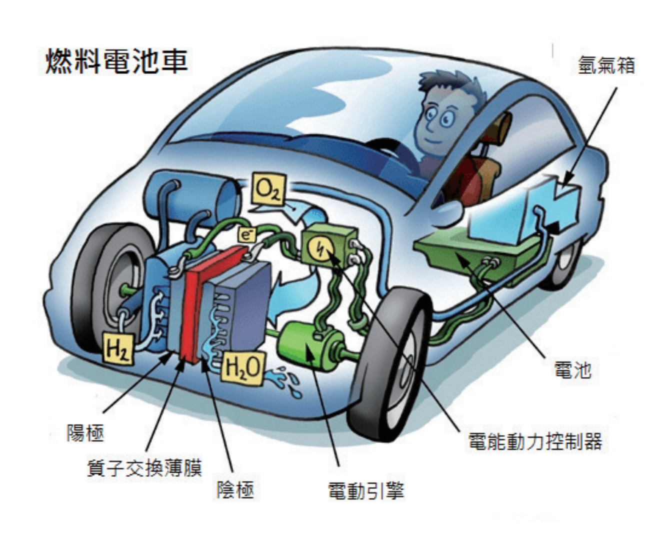
電動車真的環保嗎？

電動車不會排放廢氣是事實，可是不一定環保，首先從電池開始討論。目前電動交通工具所使用的電池大多為鋰電池，鋰因為重量輕、導電性強，被應用來製作電池，使用於電動交通工具、手機、電腦與大多數電子產品，甚至能源儲存系統。然而，大多數的鋰並不是被「開採」出來的。95% 的方式為抽取地下鹵水進行沉澱，使液體蒸發後，再以電解方式分離出鋰。

其實，鋰並不是電動交通工具的電池中影響環境的主要因素，而是電池中的銅、鋁、鈷、鎳和石墨等關鍵金屬，包括稀土的供應，對環境的影響比較大。甚至用於製造電動或內燃機交通工具其他零組件的材料，都對環境具有一定的影響力。

即使製造電池的材料與過程不見得對環境友善，我們還是需要電池，因為電力儲存系統對於是否能有效利用再生能源至關重要。像是在沒有太陽或是不起風時，就可由蓄滿電力的電池來提供電力。因此，我們必須設法結合電池與再生能源組件（如太陽能電池板與風力渦輪機），將對環境所造成的影響降到最低。因為，電動交通工具與太陽能板中一些零組件，會使用到「稀土金屬」，而開採這些原料的過程，通常會對環境與礦工造成危害。但是，這些原料也經常用在新的內燃機交通工具上。

長期來看，電動車產業勢必走向燃料電



▲一部燃料電池車的部件配置（維基百科）

池，因為燃料電池是靠電池內的氫氣與氧氣反應而產生電，反應後只會產生水，不會產生汙染物，較為環保。而且燃料電池的「充電」是填充氣體，速度很快，只要幾分鐘，鋰電池充電則至少要 30 分鐘以上。可是目前燃料電池的成本還是很昂貴。

我們充的是什麼電？

在電池組件的生產過程中，其實也消耗了大量的電力與能源，不僅墊高電動汽車的售價，讓許多消費者望之卻步。製程中所使用的電力來源是否環保，更是隱藏在電動車潔淨美好的形象之下，值得我們關注的問題。

至於用於電池充電的能源，決定了影響環境的程度。如果電力來源是使用化石燃料，負面影響可能高於使用風能與太陽能等再生能源。但是再生能源也有諸多的限制與缺點（表 1），不過，究其整體的影響，電動車還是略低於使用傳統內燃機的交通工具。

所有能源開發與生產技術都對環境有一定的影響，因此節約能源至關重要。好消息是，因為再生能源與能源儲存技術的迅速發展，所以用於製造這些零組件的材料，對於環境的影響也相對受到重視。回收電池與相關零組件的技術也在提升，但是，還需要再更好。

水力是最糟的再生能源

可再生能源就一定是綠電？一定對環境友善嗎？由香港大學生物科學學院名譽助理教授吉布森（Luke Gibson）所領導的國際研究團隊在《Science Direct》期刊上發表的最新研究，徹底顛覆了普羅大眾對再生能源的迷思。

他們比較了再生能源中風能、太陽能和水電對環境的潛在影響，依據其危害程度做出排行，結論是水電「最不像綠能」。主要是由於維護蓄水池和大壩所建設的道路造成棲息地破



▲巴西擁有豐富的水力資源，可供應全國 70%電力。圖為土庫瑞（Tucurui）水壩，是全球第 5 大水力發電站

碎損失，阻止動物遷徙並擾亂河流，而有一定深度的水壩形塑了壩底的缺氧環境，長期下來更產生大量溫室氣體甲烷，特別是在熱帶地區。

研究合著者──澳洲詹姆士庫克大學教授勞倫斯（William Laurance）表示，水電設施對熱帶雨林的生態多樣性而言根本是一場災難，水電不應該被列為「綠色能源」。

其他可再生能源如風力渦輪機和太陽能電池板也可能造成環境危害，風力渦輪機每年殺死 10 萬隻蝙蝠、增加環境溫度和噪音，損害當地物種；風電場可能會影響鳥類的遷徙路線，但若與水電相比，傷害規模顯然要小得多。

目前，中國是全球再生能源第一大發展國，其水電、太陽能和風電發電量分別占全球的 28%、26% 和 35%，巴西豐富的水力資源則居世界第 2 位。吉布森表示，我們必須密切關注這些綠色能源的開發，以確保新的設施不會傷害到野生動物或牠們敏感的棲息地。

結語

有一項研究發現，利用鋰來快速擴張電動交通工具市場，以及其他附加產品與設備，會使原物料供應不及，最後會與化石燃料一樣，需要利用一些更具破壞性的開採方式來取得。針對這個論點，比起製造大量電池，更多人反對擁有私人交通工具。因為，電動汽車只是一個短期的解決方案，如果要減少交通運輸所造成的環境影響與氣候破壞，可能需要更好的解決方案，像是發展污染更少的大眾運輸工具，或是騎腳踏車與步行。

當我們只聚焦於電動交通工具不會排放廢氣，而忽略了它充的是哪一種發電方式的電，對環境所造成的傷害是難以估算的。可再生能源與不可再生能源各有優缺點，因此，當我們平常充電時，簡單的一個插插座的動作背後，其實是一個國家的能源政策與發電來源配比，對環境是否真正的友善。

資料來源：

1. 4 Huge Reasons Why Electric Cars Are Still Not The Solution To Expensive Petrol Cars In Singapore.
   https://blog.moneysmart.sg/transportation/4-huge-reasons-why-electric-cars-are-still-not-the-solution-to-expensive-petrol-cars-in-singapore/
2. 全球電動車逾 300 萬輛，年成長 55%
   https://technews.tw/2018/02/18/electric-car-growth-rate/#more-331571
3. 拚新能源車 陸再免稅 3 年
   http://www.chinatimes.com/newspapers/20180306000234-260202
4. 抗空污！萬輛公車換電動車
   http://news.ltn.com.tw/news/politics/paper/1180671
5. 燃料電池
   https://zh.wikipedia.org/wiki/燃料電池
6. Renewable Energy Isn't Perfect, But It's Far Better Than Fossil Fuels.
   https://www.ecowatch.com/renewable-energy-suzuki-2514182227.html
7. Among"green"energy, hydropower is the most dangerous.
   https://www.hku.hk/press/press-releases/detail/16976.html

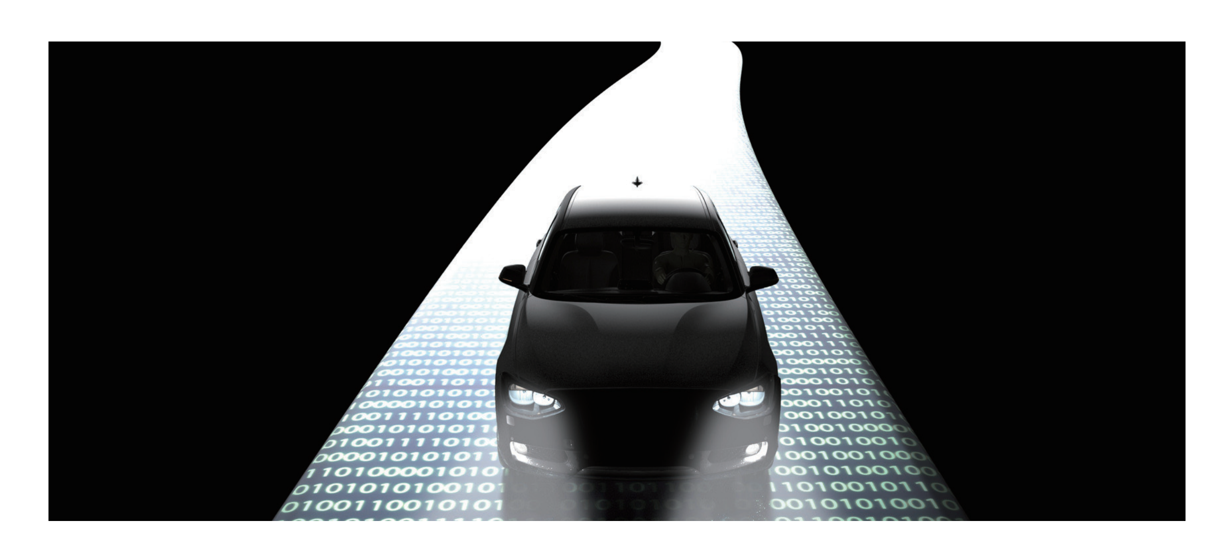


表 1. 可再生能源與不可再生能源的比較

可再生能源		
能源	優點	缺點
太陽能	1. 是乾淨且取之不盡的能源。 2. 不會增加或減少地球上的溫度。 3. 建廠容易，成本低。 4. 安全性高。 5. 熱效率亦很高。	1. 有陽光的日子才會發電，陰天和夜晚無法發電。 2. 能量非常分散，密度太低，太陽能的利用裝置必須具有相當大的面積。 3. 風大的地方其熱效率會降低，太陽光照射不穩定。 4. 太陽能發電廠成本昂貴。 5. 太陽能電池必須使用純度極高的半導體，在生產時必須消耗很大的能量，所產生的四氯化矽有劇毒性，且永不衰減，會產生環境污染，必須嚴加管理。 6. 太陽能板含有鉛、鎘等重金屬，廢汰後若隨意棄置，重金屬釋出環境會污染泥土和水源。
風能	1. 取之不盡，只要有風的地方即可設立。 2. 風能設施日趨進步，大量生產降低成本，是再生能源中相當具有經濟競爭力與發展潛力的項目。 3. 風能設施多為立體化設施，在適當地點使用適當機器，對陸地和生態的破壞較低。 4. 風力發電的空氣污染及碳排放很少，其他環境成本也低。 5. 風力發電可以是分散式發電，沒有大型發電設施過於集中的風險。	1. 風力發電容易干擾鳥類，美國堪薩斯州的松雞在風機出現之後已漸漸消失，造成生態上的問題。目前的解決方案是離岸發電，但離岸發電成本較高。 2. 有些地區的風力有間歇性，來源不穩、經濟性不足，在電力需求較高的夏季及白日，卻是風力較少的時間；必須等待壓縮空氣等儲能技術發展成熟。 3. 風力發電需要大量土地興建風力發電廠，才可以生產比較多的能源。 4. 風機運轉發電時，會發出龐大的噪音，因此需要建置在較空曠的地區，或是等待噪音較低的機種上市。 5. 運轉的風速必須大於每秒 2 至 4 公尺（依發電機不同而有所差異）不等，但是風速太強（約每秒 25 公尺）也不行，必須關閉風機，以免損壞。

可再生能源		
能源	優點	缺點
水力	1. 清潔，水力為可再生利用能源，對水和空氣的污染小。 2. 營運成本低，效率高。 3. 可依需求供電。 4. 取之不盡、用之不竭、可再生利用。 5. 可控制洪水泛濫。 6. 可提供灌溉用水。 7. 可改善河流航運。 8. 有關工程同時改善該地區的交通、電力供應和經濟，特別可以發展旅遊業及水產養殖。	1. 生態破壞：大壩以下會造成淤泥堆積，河流的變化以及對動物、植物的影響等。 2. 須築壩、遷移民宅等，基礎建設投資大。 3. 降水季節變化大的地區，少雨季節發電量少，甚至停止供電。 4. 下游肥沃的沖積土減少。
地熱能	1. 台灣地熱的蘊藏量很豐富。 2. 單位成本比開採化石燃料或核能低。 3. 建造地熱廠時間短且容易。	1. 熱效率低，有 30% 的地熱能用來推動渦輪發電機。 2. 所流出的熱水含有很高的礦物質。 3. 一些有毒氣體（如硫、硼或阿摩尼亞）會隨著熱氣噴入空氣中，造成空氣污染。 4. 受地域限制，對空氣和水有輕度污染。
海洋能	1. 用之不竭。 2. 空氣污染低。 3. 土地干擾少。	1. 適當位置少、造價高。 2. 能源輸出不穩定。 3. 破壞正常潮汐，可能會影響河口水域生態。
生質能	1. 所使用的原料來源豐富。 2. 生產技術簡單。 3. 最適合小型區域使用。 4. 所需的溫度不高，約攝氏 5~35 度。 5. 分布廣、儲量大、環保，不會造成空氣污染。	1. 轉換效率低。 1. 種植原料所需的土地非常大。 3. 原料含水量高，回收回來的原料有儲存問題。 4. 轉換的成本太貴。 5. 有些能源，無法立即迅速使用，如沼氣需要醞釀。 6. 須考慮運輸和成本問題，使用地點限制多。 7. 熱值及熱效率低。

不可再生能源		
能源	優點	缺點
煤炭	1. 燃料取得方便。 2. 建廠容易。 3. 較無危險性 4. 成本較低。 5. 發電量大、穩定，可用做基載電力。	1. 以化石燃料作為燃料，會產生二氧化硫、懸浮微粒等，造成空氣污染與酸雨，而污染水源。 2. 化石燃料儲存量有限，終有用完之時。 3. 燃燒產生廢熱、二氧化碳及溫室氣體，加重溫室效應。 4. 能源轉換效能不高，約只有 30%，浪費燃料。 5. 開採煤礦的危險性很高，經常發生礦災，造成重大傷亡。 6. 對員工與民眾肺部健康有損害之虞。 7. 煤渣也有輻射，必須嚴加管理處置。 8. 燃燒後會排放天然放射性核種。
石油	1. 容易儲存和提煉。 2. 容易開採，例如中東石油每天可開採約 1 萬桶。 3. 容易運輸，且安全性頗高。 4. 發電量大、穩定，可用做基載電力。	1. 石油一旦燃燒，燒完就完全消失於空氣，不可再重複使用。 2. 儲存量少。 3. 產油地區（如中東）的政治不穩，影響石油供應量的穩定性。 4. 全世界生產石油的地方不多。 5. 會造成空氣污染（汽車排氣就是最明顯的例子）。 6. 運輸過程一旦發生油洩漏，會污染土壤和水。
天然氣	1. 二氧化碳排放量較少，是比較乾淨的燃料，空氣污染較少。 2. 運輸方便。	1. 液化、氣化成本高。 2. 接收站、輸送管線等設施容易遭受民眾抗議。 3. 儲氣槽容量有限，以台灣現況只能儲存 7 天的使用量。
核能	1. 排放極少量二氧化碳，但不會排放溫室氣體，因此不會造成空氣污染，也不會加重地球溫室效應。 2. 只需少量的鈾燃料，即可產生大量且穩定的熱能發電，適合用作基載電力。 3. 鈾燃料體積小容易運輸，也易於大量儲存。	1. 核電廠的反應爐內有大量的放射性物質，如果釋放到外界環境，會對生態及民眾健康造成傷害。 2. 會產生放射性廢棄物，因具有放射性，必須嚴加監控處理。 3. 核電廠建造成本昂貴，建廠時間較長，出資者的財務壓力大。 4. 興建核電廠較易引發政治歧見紛爭，容易遭受民眾抗議。

參考資料：維基百科

世界各國後端營運的**公眾溝通**

文・編輯室

所有的溝通都是雙向的，要與利害關係者（stakeholder）存有良好的溝通則需要他們自最初就一同參與，而溝通的心態必須是「與（with）」利害關係者溝通，而不是「向（to）」他們溝通，這也意味著與利害關係者需要自過程一開始即進入一個「對話（dialogue）」的狀態，這樣的方式可從對方的角度來理解問題，有助於達到良好的結果。

由於核能發電所產生的放射性廢棄物衰變期長，必須要找尋適當的場址建立最終處置場，並替這些放射性廢棄物進行長時間的控管；但由於「鄰避現象」，即「不要在我家後院（Not in my backyard）」，大多數的居民都不歡迎這些具有「不受歡迎特質」──如核電廠、核廢料貯存場、焚化爐、掩埋場、監獄等，具有增進全民福祉，卻需由當地居民承受設施建造、營運時所帶來的外部成本的鄰避設施。

經濟合作暨發展組織核能署（OECD-NEA）表示，深層地質處置場是處置用過核燃料最安全、實用、有效且符合道德的方式，將其自地表轉移至地層深處，利用地層穩定性的優點，可比在地表安全貯存的時間還要長。而在找到適合的場址之後，該如何與當地居民溝通，不只核能署，就連國際原子能總署（IAEA）、美國核能管制委員會（NRC）、多數研究機構與大學等單位都有發布相關的文件，也有不少國家在相關法案中詳細界定了民眾有準確、即時了解的權力，在展開相關核能建設計畫時必須與民眾進行溝通。

根據核能署公布的相關文件，要進行「有效」的公眾溝通前，需要先設立溝通的範圍與目標，確立要傳達的中心訊息，遇到技術性的主題則針對不同的群體提供其所需要的資訊，並選擇適當、有效的溝通管道與工具，有效的傳遞訊息，以提升對方的理解程度；另外，還需視需要建立如溝通平台等的方式，讓通訊效率得以實現與衡量，促進利害關係者之間的信任與交流。

而若要增加溝通成功的機會，在整個過程中資訊必須公開透明，提高利害關係者「整體」的信任（即便少數特定參與者的信任度下降），確保選址結果與安全相關的資訊可輕易取得，供後代子孫參考，以及提升利害關係者對技術方面的理解等。欲確保溝通的「有效性」則有許多種方法，例如簡單的詢問聽眾對問題的回答是否滿意；而在公眾集會總會有些聽眾不願舉手發言，這種情況則可通過發放問卷表格的方式，供聽眾提供意見，使用網路（社群軟體、論壇討論等）則屬於可增加收到回覆，並評估溝通是否有效的方式。

如今有越來越多人開始關注溝通的重要性，這也導致執行機構、管制機構與國際團體等組織所做的努力也跟著有所提升；且由於利害關係者多種多樣，意味溝通者需要採用特

定的、有針對性的方式，與利害關係者溝通，最重要也最有挑戰性的雙向溝通則存在於「專家」與「一般民眾」之間。而至今更需要面對的則是如何與「下一代」進行更深入的交流，加強相關教育與知識傳授，落實公眾溝通。

清楚設定溝通對象、溝通目的、溝通方式，以及找尋合適的成員組成溝通小組，可以有效的提升溝通品質，但也有因素可能直接影響到溝通結果。根據中華經濟研究院一項研究顯示，補償金、設置決策程序、設場（廠）者的被信任度、公平性、設施本身需求度、社會壓力、公民責任心、社會經濟等因素均會影響核能後端營運的溝通。

研究中提到，補償制度是最早用來解決設置鄰避設施所產生的問題的制度，利用提供適當的補償能提高當地居民對設施的接受程度，來增加設置的成功性。但是，像是放射性廢棄物最終處置場、中期貯存場等具有風險的設施，其補償的效果較差、若處理不當甚至會有反效果出現。有國外研究顯示，具有公民責任感的居民將發放補償金視為一種賄賂的方式，導致更大的反彈，如德國 Bergkamen 市；另一方面，瑞士 Wolfenschiessen 放射性廢棄物處置場的實例也發現當地支持度因補償金的提供反而下降，直到金額提高至某一更高金額後支持度才又大幅提升。另外，補償金也有可能伴隨道德風險，如我國烏坵個案尤其明顯，民眾在烏坵被列入優先調查候選場址後，由於鉅額回饋（因當地人口非常少，每人平均下來所得到的賠償金額較高）的預期心理下而將戶籍遷至烏坵，當地人口一夕爆增數倍但卻與實際常住人口數不符，因而產生幽靈人口的問題。

再來，鄰避設施本身的「特質」會影響補償是否有正面的效果。設施本身具有的風險以及居民對該設施的風險認知，都會對溝通結果造成影響，如果是認知風險越高的設施，居民



則越排斥，鄰避現象也會相對較嚴重；而核子相關設施就因為居民認為風險相對較高且會影響下個世代，普遍支持比率都較其他鄰避設施低，除了補償之外應搭配其他的配套措施。另外，由於風險認知較為主觀，不易改變，僅能加強宣導與溝通，這也是較為困難的部分。

設置設施的決策程序也會影響到溝通的結果，設置過程中若無居民參與則會導致居民認為「被排除」的心理，更不願意接受。在設置過程中讓當地居民參與可增加設置決策程序的彈性，有利於雙方之間的協商，提升設施設置成功的機率。而設施本身的需求度也與支持度相關，若居民認為該項設施沒有興建的必要時，當然不會有動機去支持。

這份研究也顯示，居民對設場者的信任程度是影響協商過程與設置成功與否的關鍵因素之一。若居民對設場者存有不信任的心態，將會對雙方的溝通與協商產生負面的影響；相反的，若居民越信任管理者則接受度越高。設施設置過程與決策所涉及到的公平性層面——如設置過程的公平、設置結果的公平、補償方式的公平等，都會影響到溝通的結果。

至於公民責任心的部分在前文有稍微提到，公民責任心指的是居民因鄰避設施的設置可增加全民福祉而自願去做的利他行為，因此有些居民在無補償金的情況下仍贊成興建；但若是因提出補償金而產生排擠效應，將原來的效用排擠掉，反而會造成居民不願意支持設施的興建。

另外，社會內部的壓力對居民在做個人決定時也有一定程度的影響力。考慮到有社會壓力的情況下，居民個人所做出的決定並不會只看自身的福利，而是會考量到其他人的意見，這也會影響到居民表達自我意見的意願。而像是居民的所得、教育水平、性別與職業等的社會經濟因素也會間接影響到居民對是否興建鄰避設施的支持度。

由上述因素可見，在後端營運方面的溝通實為不易，國際間不少溝通失敗的例子，多數都是因為決策過程不夠透明、民眾參與程度不夠且對主事者信任度不足所致，而這些國家也特別針對這些問題來進行改善。在一次國際原子能總署舉辦有關放射性廢棄物最終處置的國際研討會中，分組討論的其中一位瑞士籍的主持人針對放射性廢棄物最終處置的溝通議題，表達了「技術人員所進行的溝通最為有效」的看法，尤其是那些擁有適當的培訓經驗與專業支援的技術人員，但如何避免使用技術用語、專有名詞與過多的數字、數據，是很重要的。

設場者與管制機構則應試圖認真傾聽民眾的疑慮，回答他們的問題，而不是拋出過多的文件與檔案來淹沒民眾。此外，管制機構也需要避免被視為設施的「助長者（promoter）」，管制機構自早期就介入執行管制，以及有管制機構監督的選址程序，已被證明是一種富有成效的方式，而管制者需擁有足夠的資源與能力，來履行管制機構的責任與義務。

總括來看，利害關係者關心的就是處置場的安全性、處置場對當地社會與國家經濟和福祉的影響、房價、工作機會、公共建設、競選活動（對從政者）等；而設場者需針對不同的族群來回應，並傳遞一些實質的訊息，如放射性廢棄物的存在已是無法改變的事實，必須要替其找尋安全的處置地點進行管理；中期貯存無法當作最終處置，且最終處置是安全、永續的解決方法，目前國際間也有多個國家開始著手建設；與天然輻射源和放射性落塵的輻射劑量相比，預計自適當的廢棄物處置場所產生的輻射劑量可說是微不足道；不要為後代子孫留下未解決的廢棄物管理問題，這也是國際間非常強調的一項原則，而最終處置可解決這項問題等。

另外，利用教育活動來正確地傳達「什麼是輻射」，降低民眾對「輻射」的疑慮，設場者與監管單位需要不間斷地提供準確、即時的訊息來增加民眾的信任等，都可增加公眾對處置場建設的理解，這也是雙方的「溝通」是否能成功的關鍵，也是現今使用核電的國家在最終處置場議題上與民眾進行溝通的重點。

資料來源：

1. OECD-NEA. "Communication on the Safety Case for a Deep Geological Repository."
2. IAEA. "Safety of Radioactive Waste Disposal (Conference Proceedings)."
3. IAEA. "Stakeholders Involvement in Radioactive Waste Management."
4. US NRC. "Communicating the Safety of Radioactive Waste Disposal Facilities."
5. Radioactive Waste Management Agency (Lithuania). "Communication About Radioactive Waste Management."
6. 中華經濟研究院《補償對鄰避現象的影響—以烏坵放射性廢料場址為例》

與放射性廢棄物最終處置場有關之利害關係者舉例

利害關係者之族群	主要關心重點	現有溝通方式	更有效之溝通方式	需要傳遞之訊息
從政者	* 設立處置場的理由 * 財政（資金）	* 書面溝通 * 會議	* 遊說	* 放射性廢棄物安全且可永續的解決方案
當地居民	* 安全 * 健康 * 環境影響 * 利益好處	* 書面溝通 * 會議（市、鎮議會規模）	* 重點小組會議 * 展覽展示活動 * 場址參訪活動	* 可安全 / 負責任的運轉 * 放射性廢棄物可永續的解決方案 * 社會經濟的發展
非政府組織	* 環境問題 * 安全 * 選址、決策過程等的透明度	* 書面溝通 * 會議	* 公開討論會 * 社交媒體 * 電子郵件、偏向「個人」的方式	* 可安全 / 負責任的運轉 * 準確 / 即時的訊息發布
媒體	* 公眾關心 * 新聞價值	* 新聞發布 * 採訪	* 場址參訪（媒體考察） * 社群軟體、網站 * 單獨聯繫	* 可安全 / 負責任的運轉 * 準確 / 即時的訊息發布

資料來源：國際原子能總署（IAEA）

核電廠除役計畫的**前置規劃**

文・洪國鈞



我國對於核電廠的徐役，是依據民國 92 年 1 月 15 日所頒行的《核子反應爐設施管制法》第三章──停役及除役管制及其施行細則，與民國 93 年 7 月 14 日所頒行的《核子反應爐設施除役許可申請審核辦法》，作為核電廠除役的管制規定；另外，在經濟部之下則設有「核能發電後端營運基金管理委員會」，管理基金的應用，並確保核電廠除役及放射性廢棄物貯存和最終處置所需資金不虞匱乏，使核電廠除役作業得以順利執行。

目前有關核電廠除役技術層面的文獻相當多，但組織管理層面的資料則較為欠缺。可能是由於除役在任何國家都面臨特殊的政治或社經條件，因此各國較重視技術層面。過去幾年來，由於一些大型核電廠除役經驗的累積，得以彙集、整理全球組織管理層面的資訊。良好的除役組織管理將有助於除役決策的制定，減少所需時間及資源，降低工作人員輻射劑量，並減低對民眾健康和環境的衝擊。

除役計畫的前置規劃

新的反應爐在施工規劃時，就應考慮到除役時的需求與目標，使得除役過程能夠儘速完成。在反應爐持續運轉期間，即應開始規劃除役的相關配套措施，避免在除役時面臨經費與技術上的挑戰。為了避免增加除役工作的複雜

程度，應避免擷取不必要的紀錄與資訊，添購或改善不必要的設備，前置的配套措施將可以降低除役經費與人員輻射劑量。

一、設計與建造的考量

在反應爐營建之初，即應著手建立廠區背景輻射的特性基準。背景劑量特性基準考量的範圍除了依據該地區的長期監測外，設施開始運轉後造成區域背景劑量特性基準的變動與未來的衝擊，亦應納入考量；這些資訊將會影響除役計畫的一些決定。此外，設施建造選用的建材除了工程需求外，亦應將未來清理與除污納入考量，以降低除役過程耗費多餘的人力、物力與財力。

由設施除役的層面來回顧設計特性，設計上除了考量到維護以及運轉過程之外，除役層面的執行亦應納入設計的思維當中，這些特性應包含：

1. 謹慎選擇材料：

（1）降低活化程度；

（2）抗腐蝕 ；

（3）易於除污；

（4）使潛在危險降至最低（如油類、易燃物與危險化學物質等）。

2. 廠區設計最適化的配套：

（1）大型裝置的移動；

（2）受到活化的裝置可以輕易的移除或分離；

（3）針對未來除役與廢棄物管理的設備；

（4）對於嵌入式的裝置，如管路或排水管須易於除污或分離；

（5）能夠有效管控放射性物質。

以上的設計特性將有助於未來除役計畫的執行，可以利用電腦模擬判斷增列上述除役層面的可行性。

在反應爐完成最終設計與建造之前，所有設計特性的細節與相關資訊，應考量到除役計畫執行層面的助益，也應清楚定義反應爐運轉年限與除役目標。此外，在設計與建造階段，對於除役有益的資訊應保留下來，例如結構設計圖、相關模型、圖片、相片、建造流程、管路配置、建造細節、纜線配置、結構與設備的維護及障礙物位置。

二、運轉過程的考量

為了使除役工作得以順利完成，完整保存運轉時的相關紀錄非常重要，如果這些紀錄沒有被完整的保存，在許可範圍內應儘速重建相關紀錄。此外，這些與除役相關的運轉紀錄應具備容易辨識的特性，可以增列圖片、圖表、相片等圖像紀錄。運轉過程的紀錄應包含：

1. 反應爐運轉歷史及其細節紀錄：

（1）核子燃料數目與護套破裂的紀錄；

（2）放射性物質意外外釋的紀錄；

（3）輻射與污染的調查紀錄；

（4）外釋對於地下水的潛在影響；

（5）放射性物質清單與其資料庫；

（6）廢棄物及其所在地。

2. 廠區的維護經驗與修改細節紀錄：

（1）更新後的結構設計圖與相片，包含材料的明細；

（2）特別的維護或維護經驗與技術（例如移動大型設備需要用到的屏蔽需求與技術）；

（3）設計細節、材料組成與設備操作的歷史與位置等紀錄。

在運轉期間，記錄上述資訊可以減少除役時因污染衍生的廢棄物，同時也可以避免放射性物質的外釋與洩漏，降低不必要的風險與爭議。

（本文作者為台電公司核能工程師）

德國是歐洲現今最大的**溫室氣體排放國**

文・編輯室



德國的「能源轉型」政策，由於關閉無碳排放的核電廠，加深了對燃煤的依賴，儘管有數千億美元的投資與補貼計畫，仍讓氣候變得更糟糕——這是非政府組織 Energy for Humanity（EFH）在 2017 年 11 月於德國波昂氣候峰會（COP23）所發布《2017 年歐洲氣候領導力報告（European Climate Leadership Report 2017）》的結論。

德國政府在 2011 年日本福島事故後決定將逐步廢除核能發電，並開始推動「能源轉型」，當時，德國有 1/4 的電力來自一共 17 部的反應爐。

身為非營利組織的 EFH 成立於 2014 年，主要提倡氣候行動以及追求能源普及，他們對 2017 年波昂氣候峰會的主辦國家德國做出嚴厲的批判，表示德國實為歐洲氣候改變政策「最嚴重的違規者」。EFH 最新的報告使用歐盟統計局（Eurostat）的官方數據與

ElectricityMap.org 的獨家數據，替歐洲國家的氣候領導地位進行排名。

最大的溫室氣體排放國

根據 EFH 的這份報告，德國為迄今「最大的碳排放國家」——其溫室氣體排放量占歐盟、歐洲自由貿易聯盟與土耳其中近 2 成，這也是為什麼德國的政策對降低溫室氣體排放這麼「重要」。

這份報告也表示，德國降低其碳排的程度並不像其他大型排放國家一樣快速，在所分析的 23 個國家中僅排名第 14；德國甚至將使用化石燃料所生產的電力出口至其他國家，顯著的增加鄰國於電力消耗的二氧化碳濃度。「氣候領導者是那些擁有水力發電資源與強而有力的核電政策，並結合再生能源的國家，像是瑞士（水力發電與核電）、挪威（水力發電）與瑞典（水力發電與核電）。而反核的奧地利則使用化石燃料來彌補國家在水力發電的裝置容量，降低了奧地利在整體氣候的表現。」

另外，如英國等具有務實並且有野心的氣候與能源政策的國家，正逐漸地降低他們的溫室氣體排放。英國在 2010-2015 年間就已達成歐洲溫室氣體最高絕對減排量（absolute reduction）；一些東歐國家如波蘭、斯洛伐克與捷克近年來也在國家經濟成長的同時大幅降低了高排放的水平。

進出口

EFH 這份氣候領導報告也是首次有數據將跨境的碳排放流動列入考量，進口「骯髒」的電力會對國家二氧化碳密集度造成影響。EFH 這份報告強烈的建議各國決策者將碳排放的進出口也列入考量。報告中也提到，新增高比例

Table 1: Total greenhouse gas emissions by countries (including international aviation, indirect and excluding LULUCF), 1990 - 2015
(Million tonnes of CO2 equivalents)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	Share in EU-28*
EU-28	5 716.4	5 381.4	5 270.8	5 345.2	4 909.5	4 451.8	100.0%
Belgium	148.8	157.3	154.2	148.7	136.6	121.6	2.7%
Bulgaria	104.4	75.3	59.6	64.3	60.8	62.0	1.4%
Czech Republic	198.5	157.6	150.0	148.6	140.6	128.8	2.9%
Denmark	72.1	80.1	73.1	68.9	65.6	51.0	1.1%
＊ Germany	1 263.0	1 135.7	1 062.2	1 014.9	966.0	926.5	20.8%
Estonia	40.5	20.3	17.4	19.3	21.3	18.1	0.4%
Ireland	57.2	60.9	70.9	72.5	64.0	62.4	1.4%
Greece	105.6	111.8	128.9	138.9	120.9	98.6	2.2%
Spain	293.4	335.2	395.8	451.6	369.6	350.4	7.9%
France	555.8	554.6	566.4	569.1	527.7	474.6	10.7%
Croatia	31.7	22.6	25.5	29.6	27.6	23.9	0.5%
Italy	524.1	536.8	560.9	588.3	514.1	442.8	9.9%
Cyprus	6.4	7.9	9.2	10.2	10.4	9.2	0.2%
Latvia	26.4	12.8	10.4	11.5	12.6	11.6	0.3%
Lithuania	48.4	22.4	19.7	23.2	20.9	20.3	0.5%
Luxembourg	13.1	10.6	10.6	14.3	13.5	11.7	0.3%
Hungary	94.4	76.0	74.2	76.6	66.1	61.6	1.4%
Malta	2.6	2.9	3.0	3.3	3.3	2.6	0.1%
Netherlands	226.1	239.2	229.7	225.4	224.5	206.7	4.6%
Austria	79.7	81.2	82.2	94.6	87.1	81.0	1.8%
Poland	468.5	439.7	391.4	399.8	408.4	387.7	8.7%
Portugal	61.1	71.7	84.5	88.6	72.1	72.1	1.6%
Romania	247.1	181.7	140.6	146.8	121.4	117.8	2.6%
Slovenia	18.6	18.8	19.2	20.6	19.7	16.9	0.4%
Slovakia	74.5	54.5	49.9	51.5	46.7	41.4	0.9%
Finland	72.3	72.7	71.1	70.9	77.3	57.5	1.3%
Sweden	73.0	75.2	70.7	68.8	66.7	55.9	1.3%
United Kingdom	809.1	765.8	739.8	724.5	643.9	536.9	12.1%
Iceland	3.8	3.5	4.3	4.3	5.0	5.2	
Lichtenstein	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	
Norway	52.4	51.8	55.6	56.1	56.5	55.4	
Switzerland	56.9	56.2	57.3	58.5	58.8	53.1	
Turkey	214.5	247.4	298.1	340.5	412.7	486.2	

*Share in EU-28 total in year 2015

▲根據歐盟統計局的數據，德國自 1990 開始即為歐洲最大的溫室氣體排放國家（圖片來源：歐盟統計局 Eurostat）

的再生能源裝置容量並「無法保證」可實現低二氧化碳排放。

EFH 執行董事勾庚（Kirsty Gogan）對此表示，「德國並不配享有氣候領導者的榮譽」，而法國於最近決定未來並不會加快國內核電機組關閉的速度，將成為降低碳排最多的國家之一，德國則大大落後於其他國家。另外，英國也已經證明，通過支持如再生能源與核能等低碳能源的政策來推動氣候行動是有可能的。

身兼獨立能源分析師與這份報告作者之一的帕特寧（Rauli Partanen）特別指出：「我們所使用的數據包含了電力與排放的跨境流動，描繪出來的局面與一般聚焦在再生能源容量增加的報告不同，因為我們發現這些無法顯示氣候領導與行動的確切數字。」

報告中公布了 3 項衡量氣候領導地位的新指標，第一項為各國 2010 年每百萬歐元 GDP 所排放的二氧化碳當量（噸），其中瑞士排名第一，生產每百萬歐元所產生的二氧化碳當量最少；第二項為 2010-2015 年間的絕對減排量，測量碳排減量近況，減量最大的國家為英國；第三項為 2010-2015 年間年度平均降排率，測量各國「綠化」經濟的速度，領先的國家則是波蘭。

對煤炭的依賴

對煤炭依賴程度高的國家，在 EFH 這份報告內的氣候領導排名均落在後半段。報告中記錄，過早關閉核電廠的決定，意味著德國在未來必須於國家電網上保留國內的燃煤發電大隊；此外，德國已經無法實現其 2020 年的減碳目標，目前也沒有任何跡象顯示德國未來會做出改善，而除了推動減碳，反核的「能源轉型」政策也將德國與「碳」的依賴，長期的綁在一起。

而在另一方面，英國則是以法律強制要求減碳一個非常好的例子，該國最近的氣候政策行動已經開始起了作用，並於最近承諾將於 2025 年關閉國內燃煤發電廠，若要建立新的燃煤機組則需要在配有碳捕捉與儲存技術的情況下才可建造。

資料來源：

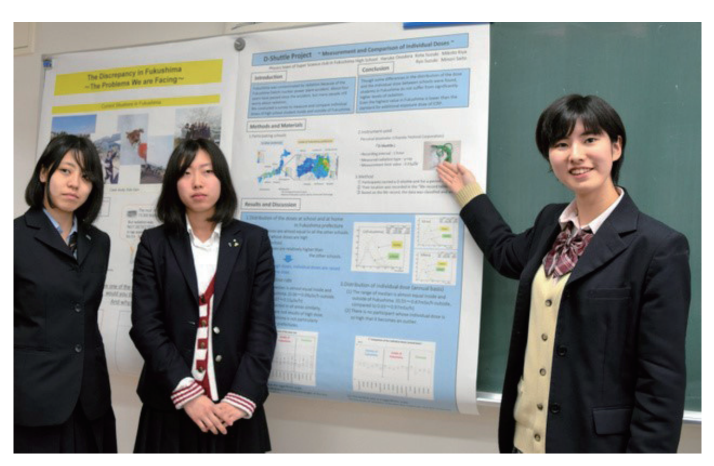
1. World Nuclear News. “Anti-nuclear Germany is Europe's biggest GHG emitter.”
2. Energy for Humanity. “European Climate Leadership Report 2017.”



福島事故七週年——

日本高中生揭露**福島輻射劑量的驚人事實**

文‧張文杰



▲ 圖 1. 福島高中生與發表的論文合照（資料來源：日本朝日新聞）

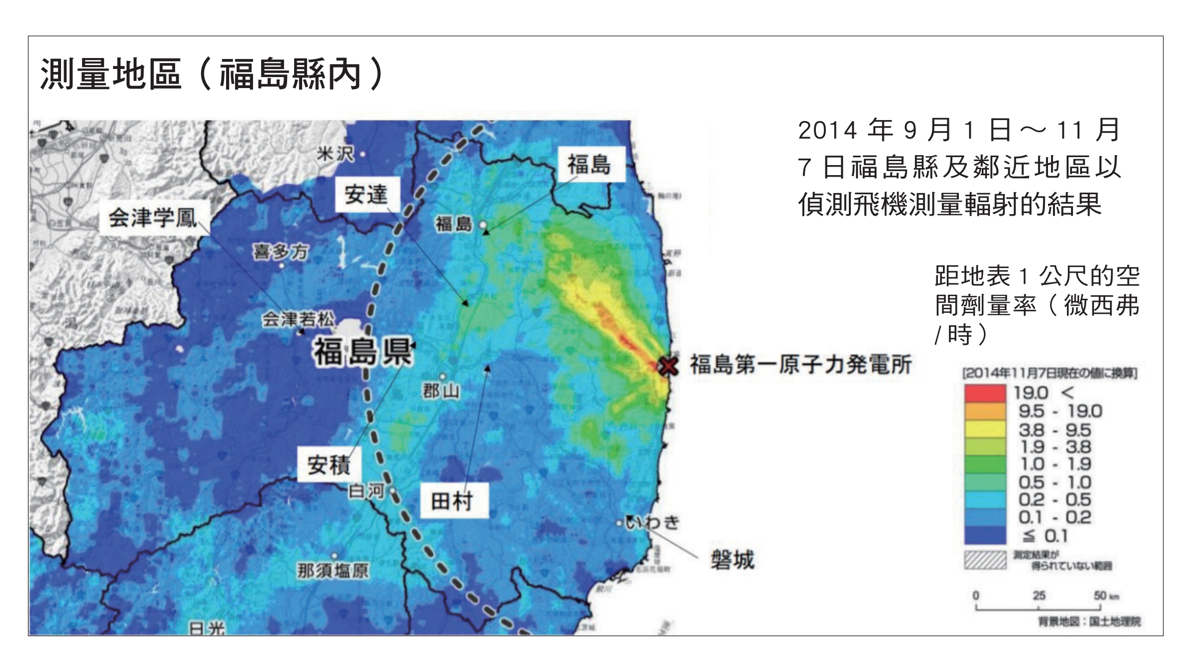
福島核災發生後，福島縣的高中生與其他縣市，或是其他國家的環境輻射劑量有多大的差距？由於外界對 2011 年福島事故的誤解與無知，福島高中的科研社徵召全日本與海外的高中生幫忙，協助他們對輻射劑量進行比較研究，他們的研究結果不僅震驚國際，甚至連福島縣內的居民也大吃一驚。

福島高中生決定公布當地的輻射真相

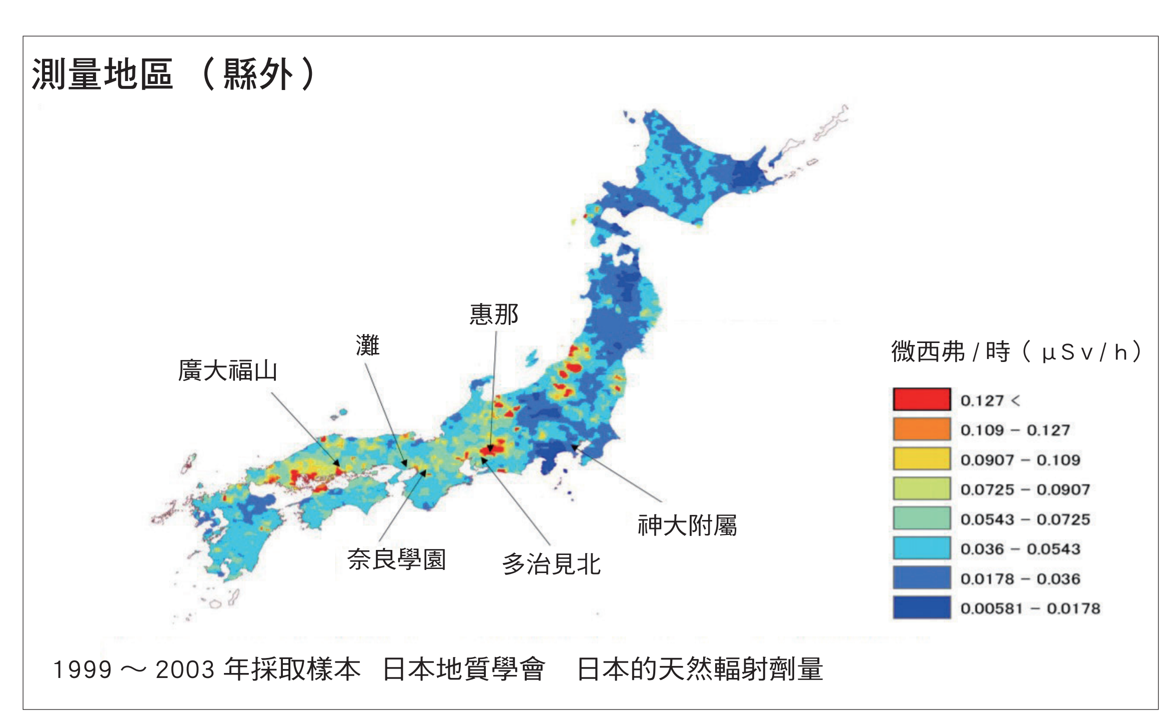
「人類可以居住在福島了嗎？」這是在 2014 年的國際交流計畫中，有一個法國高中生通過 Skype 對福島高中生問的問題。其實這

No	學校名	所在地	協助人數
1	廣島大學附屬福山中學校‧高等學校	福山市	11
2	灘高等學校	神戶市	11
3	奈良學園中學校‧高等學校	大和郡山市	10
4	岐阜縣利多治見北高等學校	多治見市	10
5	岐阜縣立惠那高等學校	惠那市	10
6	神奈川大學附屬高等學校	橫濱市	11
7	福島縣立安積高等學校	郡山市	10
8	福島縣立磐城高等學校	いわき市	11
9	福島縣立會津學鳳高等學校	會津若松市	11
10	福島縣立田村高等學校	三春町	11
11	福島縣立安達高等學校	二本松市	11
12	福島縣福島高等學校	福島市	14

▲表 1. 日本地區參與計畫的學校、所在地與人數



▲圖 2. 福島縣內參與計畫的學校所在地



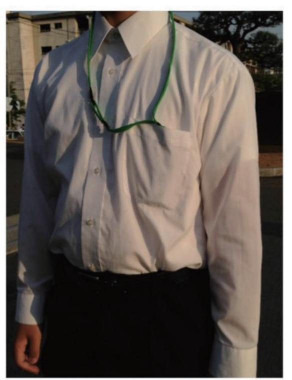
▲圖 3. 福島縣外參與計畫的學校所在地

位法國高中生並沒有惡意，只是很單純的發出他內心的疑問，但是這個問題讓福島高中生們感到震驚且難忘，他們決心由自己發起行動以釐清現況。因此他們決定挺身而出，要向全世界發表福島當地的輻射真相。

福島高中科研社的 7 名學生希望從實際的生活形態中進行測量，首先號召了福島縣內外各 6 個學校，共有 131 位師生一同參與這計畫。他們在 2014 年 6 月 18 日到 7 月 1 日這兩週中，每天都帶著輻射偵檢器，記錄這兩週內的輻射值。在 2014 年 10-12 月之間，海外有 14 所高中，分別來自法國 40 名、波蘭 28 名與白俄羅斯 12 名的高中生與老師加入，總共超過 200 名師生參與這項計畫。輻射偵檢器的型號是 D-Shuttle，偵檢的射線種類是加馬（γ）射線，也包含了自然背景輻射。

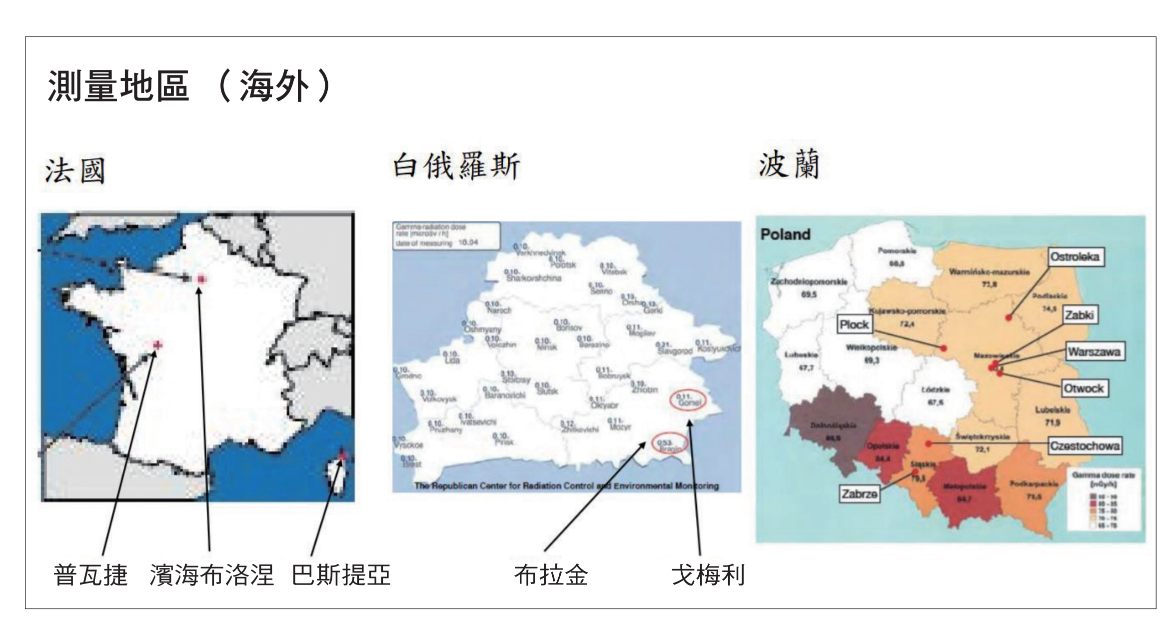


▲圖 5. 此計畫所使用的輻射偵檢器

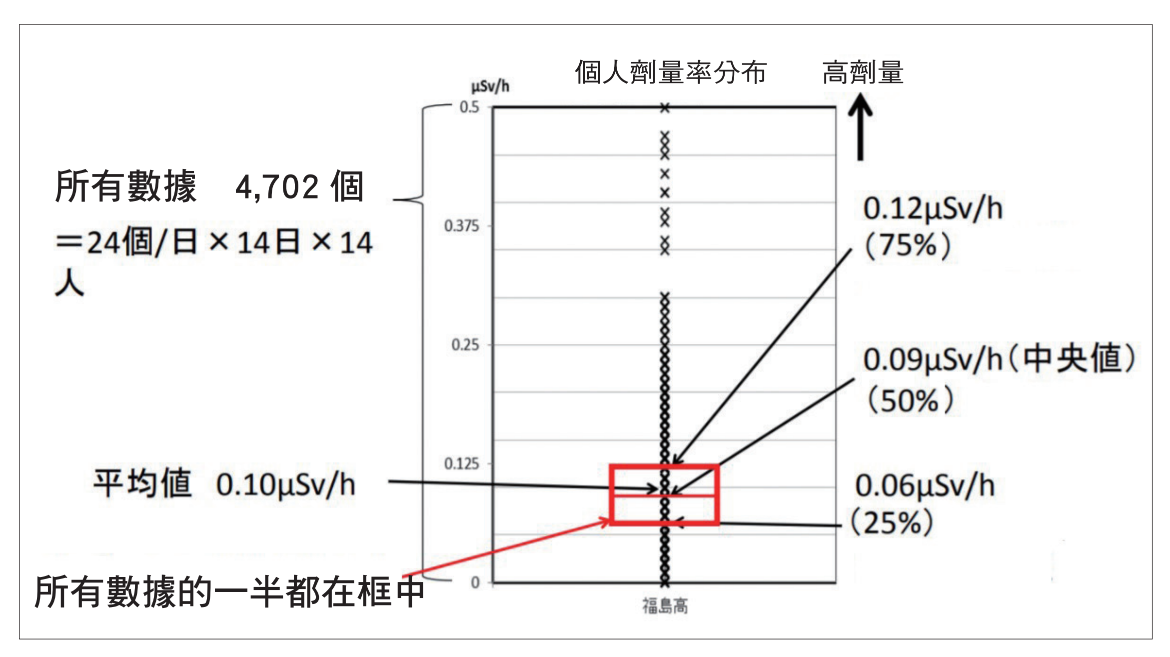


福島的背景輻射劑量跟其他地區相同

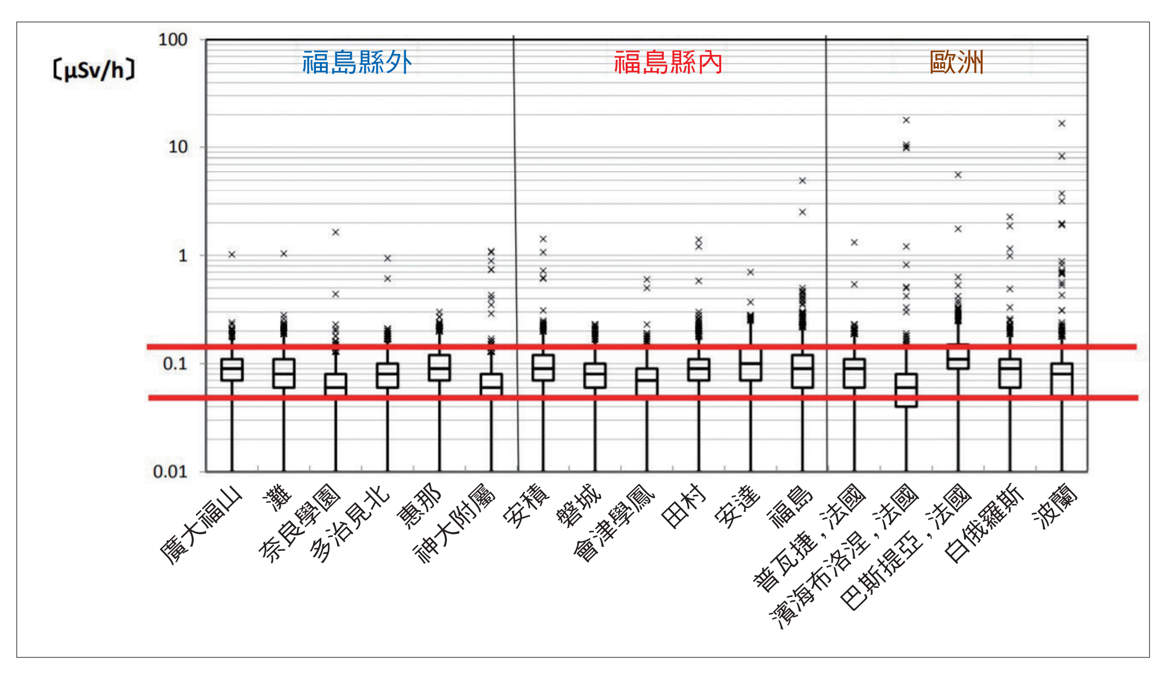
根據學生們的測量，福島的背景輻射劑量介於 0.07 到 0.10 微西弗 / 小時，日本其他地區劑量介於 0.06 到 0.09 微西弗 / 小時之間，而法國、波蘭與白俄羅斯則是在 0.06 到 0.11 微西弗 / 小時的範圍內。換算成年劑量的話，福島介於 0.63 到 0.97 毫西弗，日本其他地區介於 0.55 到 0.87 毫西弗之間，而法國、波蘭與白俄羅斯則是在 0.51 到 1.1 毫西弗的範圍內。



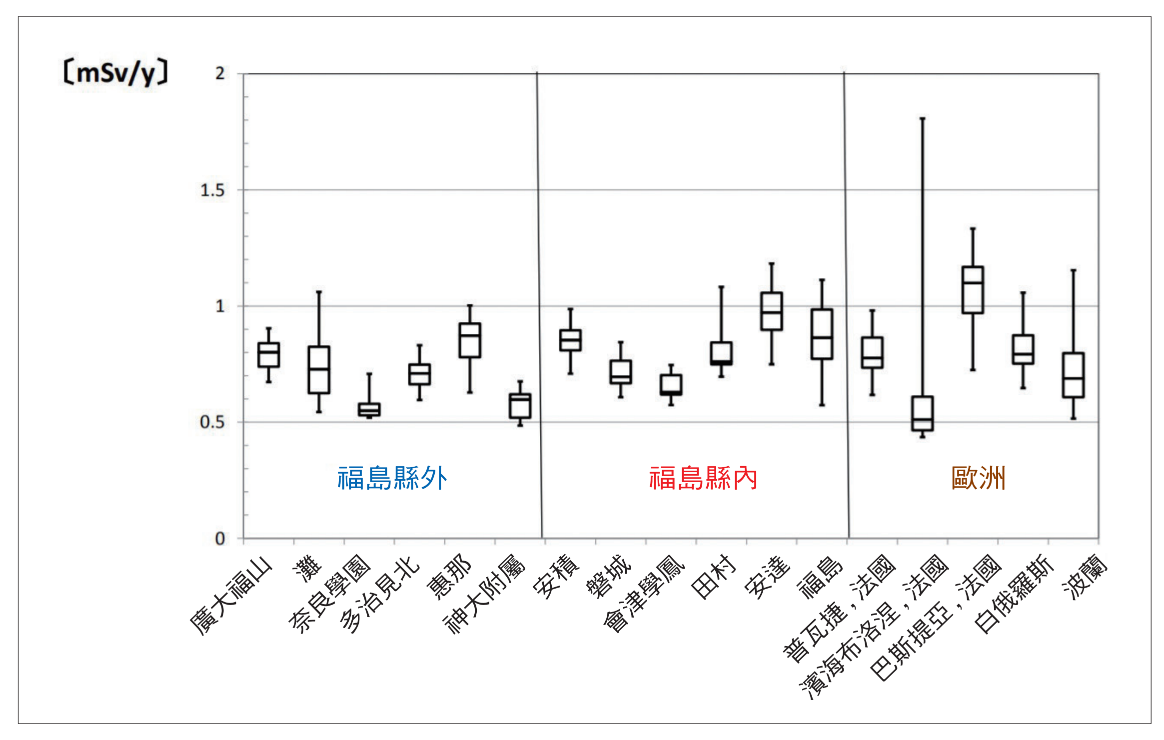
▲圖 4. 海外參與計畫的學校所在地



▲圖 6. 分析與統計輻射劑量的方法



▲圖 7. 個人的年輻射劑量分布



▲圖 8. 個人的年輻射劑量分布

福島高中科研社的小野寺悠同學表示：「研究結果代表歐洲地區、日本其他地區和福島縣內的（高中生的體外輻射）個人劑量幾乎是相等的。」事實上，多數學生與縣內居民原本預期福島縣內的輻射劑量會是最高的，甚至會有大幅度的差距，但結果令他們震驚。

學生們在這項研究活動中也學習到，哪些變因會如何影響輻射劑量水平。例如當福島高中的學生在校內時，他們曝露的放射劑量比在家裡還低。他們認為是學校的混凝土建築提供了比木造房屋更有效的輻射屏蔽；但相反的，當學生在岐阜縣的惠那高中卻測量到更高的輻射劑量，這是由於建材所使用的花崗岩是帶有放射源的。

福島高中生：從客觀證據及事實來判斷很重要

福島高中科研社的學生在科研社指導老師協助下，將這些資料寫成論文在國內發表，之後東京大學物理學的早野龍五教授幫助這些學生翻譯成英文，發表在輻射防護的專業期刊上，至今在全世界已經下載超過 3 萬次。

2016 年 2 月 8 日，小野寺悠同學與早野教授出席了位於東京的日本外國特派員協會（FCCJ）國際記者會，記者會的標題是「福島與輻射檢測──目標是將福島真實現況向全球報告」。小野寺悠說：「這次的經驗讓我充分瞭解到，客觀且科學地解決現實問題是多麼重要。」讓她對基礎科學產生更大的興趣，也萌生在大學裡的分子生物學領域做研究的夢想。

記者會上一名德國記者問：「那麼你會說福島安全嗎？」小野寺悠回答：「事實上，我們沒有測量住在受汙區（約占福島 5% 面積）



▲圖 9. 福島高中的小野寺悠同學與東京大學的早野教授



▲圖 10. 福島高中科研社指導老師與眾同學的合照

內人體的劑量，因此不能說整個福島都是安全的。」然後想了想又說：「不過希望未來可以送（個人輻射偵檢器）到受汙區協助居民做風險管理。」

也有人問到：「為什麼只記錄了兩週的時間就可以換算成一年的輻射量？」小野寺悠本來想請早野教授幫忙回答，但早野教授說：「我希望由妳自己來回答，用日文回答也行。」最後小野寺悠說：「高中生的生活大都是很規律地，準時起床，然後上學，接著準時放學回家，所以在這樣的規律生活之下，換算成一年的輻射量也沒什麼太大的差距。」

小野寺悠表示她經由這次論文發表也學到一件事：「測量的結果，即使劑量很高也要公開發表出來。不是自己研究並算出劑量就好，而是要藉由公開發表，讓大家一起思考。有風險的話，那就大家一起思考如何來迴避，從客觀證據及事實來判斷是很重要的。」

希望這活動能成為福島高校的傳統

除了小野寺悠同學，福島高中科研社 17 歲的齋藤美緑和藤原祐哉同學也在福島伊達市由國際放射防護委員會（ICRP）舉辦的工作坊上發表談話。科研社的一年級和二年級學生，在暑假時和 8 名法國高中生一起探訪福島當地的梨子和香菇栽植戶，這些從不同角度檢視福島都是現況研究計畫的一部分。

東京大學的早野教授在震災後一直很關心福島的生活，他希望這些研究活動能成為福島高中的傳統。福島高中科研社的指導老師教諭原（Takashi Hara）老師表示：「我們希望徵求福島縣疏散區的居民，還有世界上我們還未接觸過的其他地區高中生的協助，來幫助拓展我們在輻射劑量的研究。」

（本文作者為清華大學工程與系統科學系研究助理）

資料來源：

1. 日本朝日新聞
http://www.asahi.com/area/fukushima/articles/MTW20160303071450001.html
2. 福島県内外における高校生個人線量調査
https://www.jst.go.jp/pdf/pc201603_ssh.pdf

福島事故七週年——

日本醫師的福島觀察

文・中川惠一

當人體曝露於放射線時，細胞核中的雙股螺旋 DNA 會產生斷裂，被放射線切斷後的 DNA 會自行修復重新組合。在少量放射線（低劑量）照射下，會促使細胞的修復機能運作，抑制對健康的不良影響。但在原子彈爆炸的情形中，由於是一瞬間曝露於高劑量的放射線下，細胞來不及修復，就會危害健康。受傷無法修復的 DNA 會變成「異常的設計圖」，成為致癌的原因。

致癌的風險會依照劑量的多寡而不同，在廣島、長崎的數據中可看到，短時間曝露於放射線時，在 100-200 毫西弗劑量下，發生癌症的風險會增為 1.08 倍，這與因為抽菸等生活習慣而致癌的機率相比低得多，抽菸的致癌風險為 1.6 倍，相當於曝露在 2,000 毫西弗以上的劑量，而吸入二手菸的致癌風險則相當於 50-100 毫西弗。

福島的背景輻射

日本每年的背景輻射對國民造成的劑量平均為 2.1 毫西弗，此指曝露於原本就存在於自然界中的放射線，包含宇宙、大地、食物以及空氣中的氡氣。而在生活中的輻射曝露，也包含醫療的放射線。1 次電腦斷層掃描（CT）檢查全身，平均會曝露 7 毫西弗的放射線。而日本人醫療輻射曝露約 4 毫西弗，為世界最多。在害怕曝露於放射線的同時，又因「自己主動被曝露的劑量」成為世界第一而感到困惑，並且曝露於醫療的輻射總量是沒有限制的。這是因為考慮到醫療輻射帶來的益處比傷害來得多。特別是筆者專攻的放射治療，於攝護腺照射 8 萬毫西弗、全身照射 4 千毫西弗也是有的。說真的，並不需要頭痛就馬上去做 CT 檢查，要正視並改善日本占全世界 CT 檢查 1/3 的事實。

世界上有些地區的岩石土壤會釋放相當高的輻射劑量，例如北歐有 1 年 7-8 毫西弗的地方，伊朗的拉姆薩則有 260 毫西弗，但是沒有這些地方的居民癌症發生率較高的報告。

雖有因食物而產生體內輻射曝露的疑慮，在日本流通的食物輻射劑量是很低的。日本政府在福島事故發生後建立嚴格（可以說是太過嚴格）的食物、水、飲品流通基準，並要求農家及流通業者確實遵循。

從各國的食品標準來看，福島事故發生後，2012 年 4 月厚生勞動省所導入的食品中放射性物質標準值非常的嚴格。嬰幼兒食品與牛乳中容許放射性活度為每公斤 50 貝克，是美國標準的 1/20 以下；而飲用水的標準是每公斤 10 貝克，相當於美國標準的 1/120。

現在日本流通的食品完全依照國家的指導方針進行抽檢，但福島產的米，並非抽檢，而是進行「全量全袋檢查」。2015 年以後全以每公斤 100 貝克的標準（美國、歐洲標準

表 1. 癌的風險──放射線、戴奧辛與生活習慣

相對風險	全部位 ＊固體癌：廣島、長崎 戴奧辛：義大利北部農藥工廠爆炸事故的職業曝露	特定部位 ＊ 18 歲以下被曝 10 ～ 15 年後
10 ～		C 型肝炎感染者（肝臟：36） 幽門桿菌感染帶原者（胃：10）
2.50 ～ 9.99		650-1,240 毫西弗 （甲狀腺：4.0） 【推算 1,000 毫西弗者 3.2 倍】 抽菸者（肺：4.2-4.5） 大量飲酒（300g 以上 / 週）※（食道：4.6） 每日高鹽分食品（胃：2.5 ～ 3.5）
1.50 ～ 2.49	1,000-2,000 毫西弗（1.8） 【推算 1,000 毫西弗者 1.5 倍】 抽菸者（1.6） 大量飲酒（450g 以上 / 週）※（1.6）	150-290 毫西弗（甲狀腺：2.1） 運動不足（結腸 <男性>：1.7） 肥胖（BMI≥30）（大腸：1.5）（停經後乳癌：2.3）
1.30 ～ 1.49	500-1,000 毫西弗（1.4） 2, 3, 7,8-TCDD 血中濃度數千倍 【職業曝露】（1.4） 大量飲酒（300-449g/ 週）※（1.4）	50-140 毫西弗（甲狀腺：1.4） 二手煙 <非抽菸女性>（肺：1.3）
1.10 ～ 1.29	200-500 毫西弗（1.19） 肥胖（BMI≥30）（1.22） 過瘦（BMI<19）（1.29） 運動不足 （1.15-1.19） 高鹽分食品 （1.11-1.15）	
1.01 ～ 1.09	100-200 毫西弗（1.08） 蔬菜攝取不足（1.06） 二手煙 <非抽菸女性>（1.02-1.03）	
檢出困難	未滿 100 毫西弗 2, 3, 7,8-TCDD 血中濃度數百倍 【農藥工廠爆炸事故周邊住民】	

※ 關於飲酒，以酒精換算量表示
來源：http://www.ncc.go.jp/jp/shinsai/pdf/cancer_risk.pdf

的 1/12 以下）檢驗合格。不僅如此，2016 年 99% 在偵測極限以下，現在全部的福島米皆在掃描檢查的偵測極限以下。因放射性物質未進入福島縣民體內，體內曝露的劑量當然就極度的減少了。實際上，即使是兒童專用的全身精密檢查儀器（檢驗最小限度是 50 貝克 / 人），也檢測不出放射性銫[1]。

雖說在福島地區有體外曝露的問題，事實上，2014 年福島市民因事故額外增加的被曝劑量平均值是 0.44 毫西弗，99.57% 的人每年增加不到 1 毫西弗。在全村撤離的飯舘村內，常於福島市內等地通勤且在戶外作業的職員，最大的額外曝露的劑量也是在 1 年 3 毫西弗左右。大多數的福島居民，1 年體外曝露的劑量約在 2-3 毫西弗以下。

福島縣民健康調查報告，99% 以上的福島居民輻射劑量約在 5 毫西弗以下，一生因福島事故而額外增加的輻射劑量，推算平均約 10 毫西弗（UNSCEAR 2013 report, Vol.1）。表 2 是福島事故發生後 1 年內有效劑量的最大估計值，這種程度的輻射曝露劑量，不僅會隱蔽在一般的日常生活習慣中，也不可能檢測出癌症發病率的增加。

福島兒童的甲狀腺癌

雖有福島的孩童甲狀腺癌增加的報導[2]，但這不是核子事故的影響，而是在縣民健康調查中進行精密的甲狀腺檢查，而早期發現「自發型」癌症的原因。

在韓國也發生罹患甲狀腺癌激增的現象，已是該國癌症中的第一位，原因也一樣，是進行甲狀腺檢查的結果。日本的問題是癌症檢查受檢率很低，而韓國卻有 6 成的人會去健檢。而女性在乳癌檢查時，醫師會順便用超音波裝置檢查甲狀腺，因此只有「發現」的案例急增。近 20 年來甲狀腺癌的發現增加了 15 倍以上，但死亡人數並沒有增加，當然這是由於甲狀腺癌的死亡率本來就非常低的緣故。

現在韓國過度的檢查成了社會問題，本來甲狀腺癌在成人中存在的可能性相當大，但在大多數情況下，甲狀腺癌並沒有擴大，或是就自行消失了，因此甲狀腺癌對於國高中生來說也並不稀奇。由於福島事故當時對 18 歲以下所有孩童進行健康檢查，所以發現案例的增加，一點也不奇怪。

而車諾比事故中，造成 15 名孩童因甲狀腺癌死亡，我們必須了解車諾比事故及福島事故的狀況並不相同。車諾比事故中每 100 位孩童就有 1 人曝露於 1 萬毫西弗的輻射劑量，而福島事故的孩子最多曝露在 100 毫西弗以下（UNSCEAR 2013 report, Vol. I）。

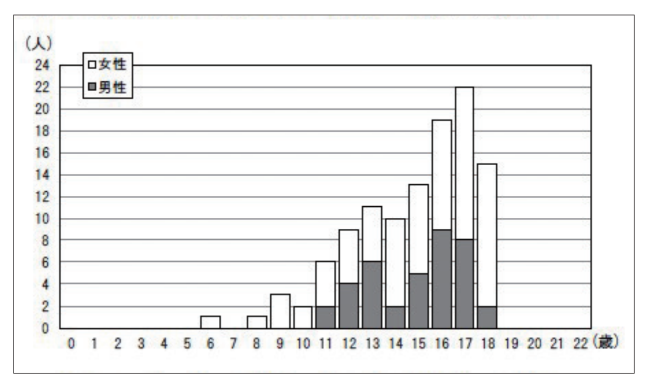
福島在甲狀腺癌發病的兒童案例中大多是高中生，而車諾比發病的是 6 歲以下的孩童，狀況完全不同（UNSCEAR 2008 report, Vol.

表 2. 事故後 1 年間有效劑量推算值（平均值）

推計的條件	大人的有效劑量 *
已避難住民（避難前以及在避難中被曝）	10 毫西弗以下
上述之中，在 3 月 12 日早期已避難的案例	約 5 毫西弗以下
福島市的住民	約 4 毫西弗

*1 歲幼兒的有效劑量是大人的 2 倍

來源：UNSCEAR 2013 report, Vol.1



▲圖 1. 2011 年 3 月 11 日當時細胞診斷無惡性及疑似惡性者 112 人的年齡、性別分布

II)。圖 1 是福島兒童甲狀腺癌的年齡分布。

也有資料顯示，甲狀腺癌的發病原因在於遺傳因子的變異[3]。依照福島縣內地區來看，福島避難區的甲狀腺癌發生率沒有增加。鄉村市鎮甲狀腺二次檢查結果，罹患惡性腫瘤或疑似惡性腫瘤的比例，2011 年調查鄉鎮市（國家指定的避難區等 13 鄉鎮市）為 0.03%，2012 年調查鄉鎮市（縣內等地 12 鄉鎮市）為 0.04%，2013 年調查鄉鎮市（磐城市、神奈川地區、會津地區等 34 鄉鎮市）為 0.03%。

車諾比事故在蘇聯體制下，並沒有把事故的資訊傳達給居民，也沒有對避難和食物的管理做適當的處置，而且每個國家的用餐習慣不盡相同。碘是製造甲狀腺荷爾蒙不可或缺的物質，由於日本四周環海，可從昆布等海藻類攝取碘。若在內陸的話，碘的攝取就可能不足。車諾比附近的孩童因為碘攝取不足，甲狀腺吸收了大量的放射性碘。福島和車諾比事故不同，根本沒有因曝露於輻射而增加的兒童甲狀腺癌案例，但今後隨著福島縣檢查的增加，發現癌症案例的可能性也會增加。事實上，若繼續如此對兒童甲狀腺檢查的話，恐怕會像韓國一樣是「過度診察」。若是發現微小的甲狀腺癌，應盡可能的先作觀察才是。

低劑量曝露與 LNT 假說

即使低劑量曝露的影響非常小，也無法斷言零影響，這是因為不可能證明風險完全不存在。筆者雖然判斷「福島不會因為輻射而使致癌率增加」，但無法證明「絕對」不會增加。

國際放射防護委員會（ICRP）提出 0-100 毫西弗劑量對健康的影響是以安全的觀點，因此採用即使極微量也有影響的線性無閾假說（LNT hypothesis）。因為 1,000 毫西弗的曝露約增加 5% 癌症死亡的數據，在 LNT 假說中就假設 100 毫西弗會增加 0.5% 的致癌率來進行輻射防護；但 ICRP 也將此視為假說，「不能使用在致癌、死亡人數的推算」（ICRP Publ. 103），並且認為「10 毫西弗以下的曝露，即使是大的團體也無法觀察到癌症的增加」（ICRP Publ. 96）。也就是說，100 毫西弗以上為「科學」領域，100 毫西弗以下為「哲學」領域，或者也可以說是安全思想的領域。

但是在日本，有關 LNT 假說的誤解泛濫流傳，例如，號稱為專家的人宣稱：「因為 100 毫西弗的曝露會增加 5% 的致癌率，福島的人口為 200 萬人，如果縣民平均受到 10 毫西弗的曝露，就會增加 1,000 名的癌症患者。」因此造成一陣混亂。在生活中曝露於 100 毫西弗以下的低劑量與其他主要原因相比，增加癌症的程度可以說非常低。

福島避難者的健康狀態

目前對福島的避難者而言，相較於輻射，反而是日常生活的不自由及心理上的問題才是重點課題。因為壓力的關係，住民的糖尿病及高血壓增加，飲酒也增加，運動不足，肥胖也增加。

即使在「生活機能評估基本查核表」的分析，比較震災前後查核表數據的結果，在「工具性日常生活活動能力量表」中運動機能、營

養、口腔機能、認知症、憂鬱狀態等方面也發現有惡化現象。

另外，為瞭解住民在心理方面的影響，已經完成全體村民調查。在 2012 年 10 月初次調查中顯示高齡者身體的活動顯著減少，年輕人則有與鄰近地方缺少交流，以及睡眠、酒精、急躁感等心理方面的問題；2013 年 6 月追蹤調查結果也顯示同樣的傾向，心理、社會方面的問題有慢性化現象。

福島縣立醫科大學以飯館村約 1,000 位村民為調查對象，結果顯示高血壓、肥胖、糖尿病、脂質代謝異常、肝功能指數增加，因避難而造成健康惡化的現象。

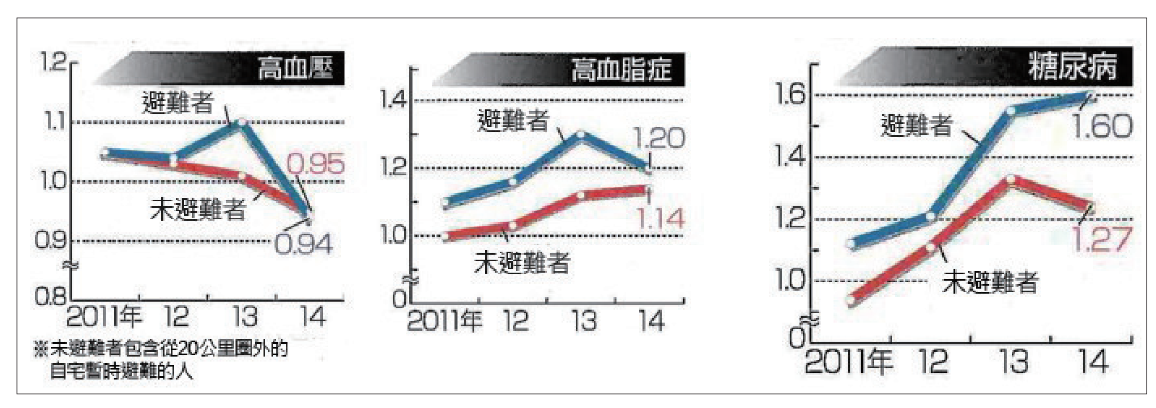
距離福島第一核電廠 10-50 公里的南相馬市和相馬市，接受健康檢查者為 40-74 歲共 6,406 人。將接受檢查者分為避難者和未避難者，有關糖尿病及高血脂症等發病率，比較事故前 3 年平均值與事故後 2012- 2014 年的結果，可知避難者健康有惡化現象。發病率變化最大的是糖尿病，避難者在 2014 年為事故前的 1.6 倍，未避難者也增加了 1.3 倍。高血脂症的避難者人數在事故翌年的 2012 年以後上升，2014 年為事故前的 1.2 倍。另一方面，高血壓在事故前後未發現較大的變化，進行調查的坪倉正治醫師說明：「可能是人際關係及工作等生活環境變化產生影響，除了被迫過著避難生活有關以外，即使未避難者也可能因為工作場所變更等生活上變化所產生的影響，對住民的慢性疾病有必要長期持續觀察下去。」

如上所述，福島的住民接受曝露的劑量相當少，並未因輻射而增加癌症，但若因生活習慣的惡化而罹患糖尿病，則會使癌症風險增加 2 成（胰臟癌、肝癌約 2 倍左右），而這樣的風險相當於 500 毫西弗。長期來看，福島癌症增加的可能性會較高，為了預防癌症而避難卻因此有罹患癌症之虞。

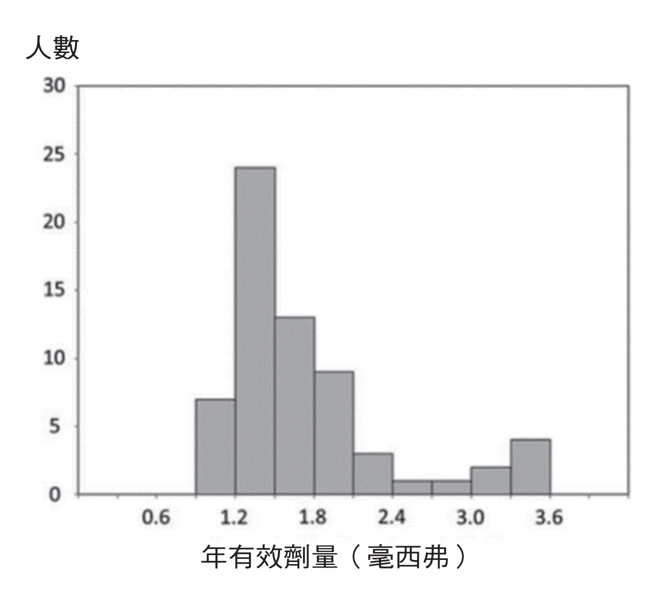
與飯館村的相遇

我因「風險溝通」的關係來到飯館村，2011 年 4 月為進行福島的土壤與食物的輻射汙染調查和菅野村長會面，當時飯館村公所旁的飯館養老院對政府「全村避難」的指示採反對的立場。在東大醫院的輻射治療團隊進駐之前，沒有任何東京來的人曾造訪這個養老院。我們去訪問時，養老院內有 107 位長者，平均年齡約 80 歲，最高齡者 102 歲，大部分的人無法自主行動，需要較高程度照護，也有幾位已到人生末期，在震災後的一個半月內即有 3 人死亡。

核子事故造成輻射外洩對一般民眾的健康



▲圖 2. 年有效劑量（單位：毫西弗）



▲圖 3. 菊池製作所福島工廠員工輻射曝露的劑量

傷害只是癌症「風險」增加而已，輻射在細胞分裂進行複製時，對於不安定的基因造成損傷，有時造成細胞的「不死化」，在此狀況下產生的癌細胞也幾乎都會被免疫細胞殺死，但是對原本就存在的癌細胞卻難以辨識為異物，成為強勁的對手。

像這樣避過免疫系統的監視而存活的癌細胞因重複分裂而增殖，但大多數的癌細胞成長到 1 公分需要 20 年的時間，85 歲的長者即使因輻射曝露造成癌細胞增加，但要成長到 1 公分時已超過 100 歲。因此避難幾乎沒有好處。

2011 年 4 月，飯館村的空間劑量率雖超過每小時 3 微西弗（μSv），但養老院內任何地方的輻射劑量都在每小時 1 微西弗以下，這是因為大型鋼筋混凝土的建物屏蔽效果相當好，入住者因為不能外出，輻射的曝露比較少。有些入住者是同一個家族，結果被迫分離到其他不習慣的設施去，因生活不便利而產生壓力，為了避難卻造成反效果。

後來我才知道，其實菅野村長的義母住在福島縣內其他的養老院，在福島事故後需避難，輾轉到栃木縣內兩個設施，聽說在大約兩星期後死亡，高齡的入住者如果去避難，死亡率高達 3 倍。依據村長親身經驗的信念，我們在社群軟體上也持續推動，養老院因而得以繼續維持運作。

菊池製作所

菊池製作所也在全村避難的指示下繼續在飯館村內營業，理由是必須和客戶、相關官署維持長久培育的信賴關係。2011 年 6 月起為維持營運，與行政單位合作積極進行健康傷害對策及除汙，以高壓水沖洗部分廠房，自主性設立空氣噴淨裝置；並準備室內專用鞋，減少放射性物質被帶入室內。另外，不僅是周圍土壤，連工廠內的柏油路也刨除後重新鋪設，在徹底除汙後，工廠內輻射劑量下降至除汙前的 3 成以下。

另外在 2011 年初採取對策，利用從飯館村借來的輻射劑量計，使員工曝露的劑量不超過 20 毫西弗。員工人數雖然一度降到 100 人以下，但留下來的人員同心協力持續作業，也因此獲得成果，訂單並未減少。2011 年 10 月，股票也在大阪證券交易所、JASDAQ 市場上市。2012 年 12 月安倍總理訪問川內工廠，2013 年 7 月天皇與皇后也到飯館工廠訪問，持續給予鼓勵。

2013 年調查在福島工廠員工的體外劑量，對 19 歲至 62 歲跨世代共 64 位員工（男性 39 人，女性 25 人）進行調查，其結果如圖 3 所示。70% 員工體外曝露的年有效劑量在 2 毫西弗以下，雖有部分員工超過 3 毫西弗，但那些人員是持續每天在室外作業 10 小時左右，推測沒有人達到 1 年 5 毫西弗。目前除汙及放射性物質衰變仍在持續，故體外曝露的劑量也持續降低。目前使用個人劑量計與 GPS，可記錄

個人每分鐘詳細劑量的行動數據，更加詳細解析每一個人體外曝露的劑量。

在福島事故發生後，避難者罹患糖尿病的人數增加了 1.6 倍，但菊池製作所福島工廠員工的健康狀況卻良好。筆者推想可能是持續有人際關係、工作等，與生活環境變化小的緣故。

風險衡量標準

一般民眾對風險標準欠缺正確的判斷與態度，吸菸的輻射劑量超過 2,000 毫西弗，二手菸是 50-100 毫西弗，相較來看，曝露在未滿 100 毫西弗的低輻射劑量，並非處於高風險狀況。對於曝露在低輻射劑量下的風險不應只是一味的忌諱避談，應重新審視繼續的避難是否妥當。

當年車諾比事件，強制性避難破壞了當地社會狀態，前蘇聯的烏克蘭因經濟窮困，當地居民平均壽命大幅下降。再看日本的廣島縣，今日縣民健康，更是長壽的都市中心。因此，我們應該認清眼前現實狀況，並記取人類歷史給我們的寶貴經驗。

謠言傷害的殺傷力驚人

自福島事故發生以來已經 7 年，但「謠言傷害」仍未停止。目前所有福島生產的米以全世界最嚴格的標準檢驗均合格，100% 均在可測值以下，在輻射方面可以說是全世界最安全的米。但是即使這麼安全，福島的米仍賣不出去。曾經是東北米倉的福島，生產量已經減至事故前的 3/4，且價格仍然低迷。福島米的主要品種，經 15 年以上開發的「天稻」，現在已轉為飼料米。

現在福島生產的米有 3 成在福島縣內銷售，其餘 7 成在全國的零售市場銷售，銷往一般家庭的量大幅下滑，米的價格依種類不同有的甚至下跌了 2 成。便利商店的飯糰、便當，及餐館中的米製品的使用量有增加的趨勢，儘管品質很好，但價格比全國平均值還低。

福島縣民有 9 成知道福島米是以「全量全袋檢查」的方式檢驗其安全性，但是，在縣外不到 5 成；知道檢驗結果零超標的民眾，在縣內不到 6 成，縣外甚至不到 2 成。縣內與縣外已經出現訊息鴻溝。

此外，2015 年時民眾對福島縣生產的農作物持有排拒感的比例，福島縣內為 18%，縣外為 23%。雖然有 80% 的民眾表示不排斥，但福島米轉為飼料米販賣已成事實。

經銷商表示，現在縣外仍有很多消費者忌諱福島的農產品，但是同樣的福島米所釀的日本酒就大受歡迎。自古以來福島縣以酒產地聞名全日本，許多啤酒廠互相競技，生產各種品牌酒。福島酒的品質在全國新酒評鑑賽中，連續 5 年獲得金牌的數量居日本第一，適合釀造清酒的「夢之香」也很受歡迎。

福島米和福島酒，為什麼有這樣的差別呢？我認為即使是相同的經銷商，甚至是頻繁造訪福島飲用當地酒的人們，並沒有真正地理解福島農作物安全性的緣故。要支持福島，儘可能地了解福島的真相是很重要的。

（中川惠一醫師為日本東京大學醫學部附屬醫院放射線科副教授）

資料來源：

1. http://apital.asahi.com/article/fukushima/2014092400003.html
2. https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/101599.pdf
3. 鈴木真一等人，「兒童和青少年甲狀腺癌發病的鑑別和相關發病機制」，第 57 屆日本甲狀腺學會年會

照得不偏不倚、劑量不多不少 核子醫學的標靶藥物與輻射品保

文・編輯室

即「鎵」即用，核研所創全球首發肝標靶藥物

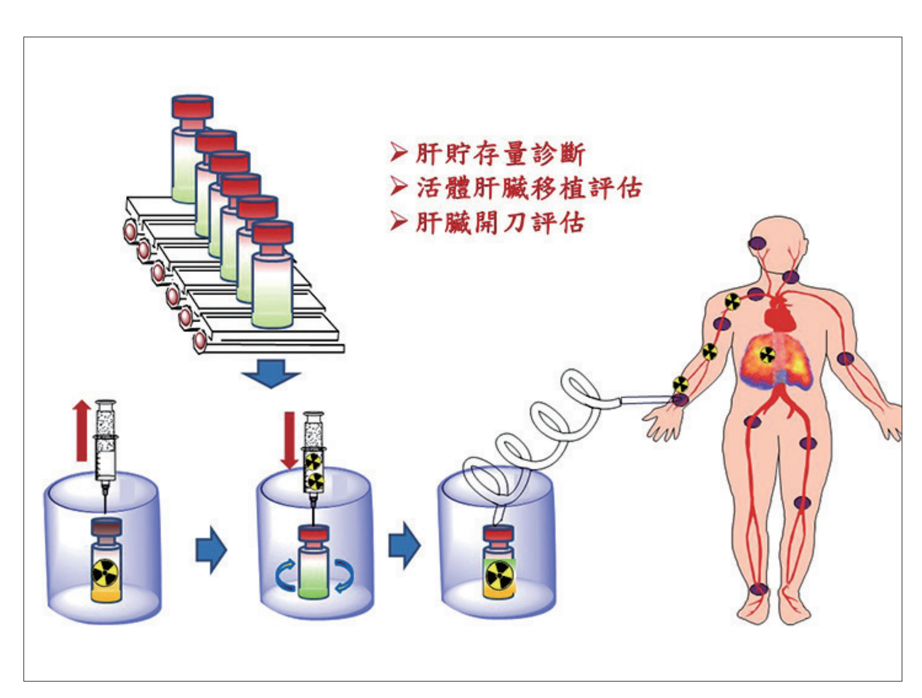
全世界 1/10 人口、約 6 億 8 千萬人患有慢性肝炎，分別為 B 型、C 型及其他帶原者，是肝硬化及肝癌的高危險群；根據我國衛生福利部統計，與國外文獻數據顯示，台灣肝癌及肝硬化為國人十大死因之一，約 419 萬人，每年死亡人數約 1 萬 4 千人，而美國每年因肝病死亡人數也高達 4 萬 2 千人。肝臟移植是挽救肝衰竭與末期肝硬化的唯一方法，但移植評估仍有不少問題，直接影響了病患的存活率。因此，若能在肝臟切除之前，完整評估切肝、換肝前的肝貯存量，將大大降低換肝風險，並提升肝移植的成功率。

核能研究所研發團隊以多聚乳糖對肝臟特定受體的專一性及影像優越特性，發展出肝功能造影劑，可應用於肝功能貯存量的評估。目前已成功發展為凍晶劑型即加即用的鎵 68 正子肝功能造影劑，在全球專利布局中，獲得美國、日本、歐盟及中華民國超過 19 張專利，是台灣原創新藥的又一新例。

因應國人肝病治療的需求，核能研究所以多聚乳糖對肝臟特定受體的專一性，成功發展肝功能造影劑－核研多蕾克鎵肝功能造影劑（INER Dolacga kit），應用於肝功能貯存量評估，此藥劑適用於切肝、換肝或慢性肝炎療效的評估，後續也可用以評估慢性肝炎的嚴重度，對降低肝病死亡率大有助益，符合黃金 10 年國家願景降低死亡率的政策，並大量降低健保給付支出。

本項創新除了獲得包括美國、日本、歐盟及中華民國超過 19 張專利，同時榮獲第 10 屆國家新創獎、2014 年德國紐倫堡發明獎、2015 年台北國際發明暨技術交易展生技製藥組最高榮譽鉑金獎及 2014 年 Tech Plan Grand Prix Taiwan 2014 發明競賽（由日本舉辦）第 3 名等殊榮；研究成果發表於肝臟界重要期刊〈Journal of Hepatology〉，躍登世界舞台。

此藥劑於 107 年 1 月獲得美國第一期臨床試驗的許可，為全球首次執行的肝功能臨床試驗。核研所擁有實力堅強的研究團隊，將繼續致力於擔任國內新藥研發引擎的角色，發揮創新開發的能量，造福國內外病患。

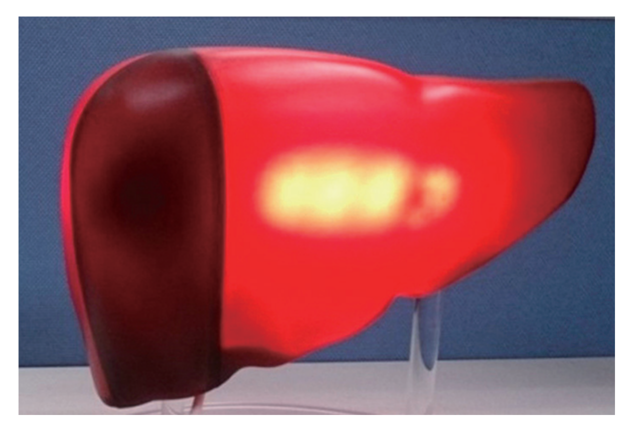


▲圖 1. 核研多蕾克鎵肝功能造影劑臨床檢驗流程

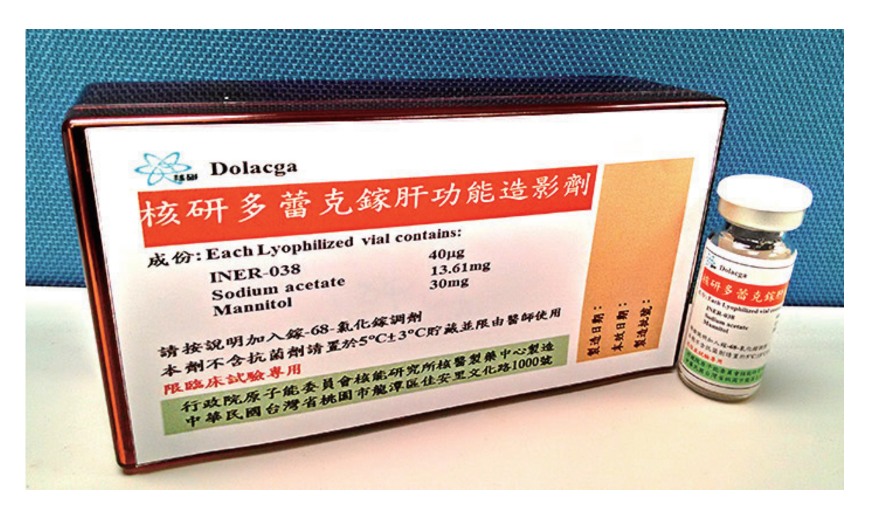
醫療曝露推動品保，民眾健康如獲至寶！

「輻射醫療曝露品質保證作業」是一種醫療輻射最適化的管理，要求醫院擬定醫療曝露品質保證計畫，並透過專業的品保人員，定期依標準作業程序執行輻射醫療設備的各項品質保證測試，確保其各方面性能正常，放射治療設備照的不偏不倚、照的不多不少，符合醫師的醫療處方；放射診斷設備可於合理的劑量下，獲得最佳的影像品質，供醫師做最佳的診斷，以提昇國內輻射醫療品質，降低病人不必要的輻射曝露劑量。

自 93 年起，原能會積極推動輻射醫療曝露品質保證作業，對民眾經常使用的 11 種放射診療設備，例如：電腦斷層掃描儀、乳房 X 光攝影儀以及醫用直線加速器等，均訂有輻射醫療曝露品質保證標準，符合標準的設備將核



▲圖 2. 核研多蕾克鎵肝功能造影劑能有效區辨有功能的肝區塊，肝癌處完全無吸收



▲ 圖 3. 核研多蕾克鎵肝功能造影劑採凍晶劑型，有利長期保存與全球銷售



▲ 圖 4. 乳房 X 光攝影儀與品質保證標籤

發「輻射醫療曝露品質標籤」，並要求醫療院所將標籤張貼於設備上，供就診民眾辨識，以確保接受放射診療民眾的輻射安全，每年因此受惠民眾估計超過 410 萬人次。

在原能會多年的耕耘下，證明台灣不只醫療水準能媲美歐美先進國家，在輻射醫療曝露品質上也與世界先進國家並駕齊驅，提供民眾一個安全優質的輻射醫療環境，讓民眾能安心受檢。為讓大家更瞭解醫療輻射等各種輻射民生應用，原能會在 FB 粉絲頁「輻務小站」，介紹輻射相關資訊，歡迎到原能會網站首頁點選「輻務小站」上去逛一逛，也別忘了幫他們按讚喔！

資料來源：

1. https://www.aec.gov.tw/newsdetail/news/3983.html
2. https://www.aec.gov.tw/webpage/radtown/default.php

【新聞小辭典】

- **輻射醫療曝露品質保證 (Medical Exposure Quality Assurance)**

  藉由每日、每週、每月、每季、每半年、每年品質保證測試的執行，以確保輻射醫療設備各方面性能均維持在一定品質。

- **哪些輻射醫療設備已經納入品質保證規範？**

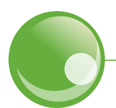
  1. 醫用直線加速器。
  2. 含鈷 60 放射性物質的遠隔治療機。
  3. 含放射性物質的遙控後荷式近接治療設備。
  4. 電腦斷層治療機。
  5. 電腦刀。
  6. 加馬刀。
  7. 乳房 X 光攝影儀。
  8. 診斷用電腦斷層掃描儀。
  9. 核醫用電腦斷層掃描儀。
  10. 電腦斷層模擬定位掃描儀。
  11. X 光模擬定位儀。

- **輻射醫療曝露品質保證標籤**

  醫療院所設置上述輻射醫療設備，如符合輻射醫療曝露品質保證標準相關規定，原能會所核發供民眾辨識的品保標籤。



▲ 圖 5. 電腦斷層治療機與品質保證標籤

福島事故七週年——

日本首次發現顆粒狀放射性物質

文・編輯室

英國曼徹斯特大學（University of Manchester）宣布，在受損的福島第一核電廠所釋放的微小顆粒中，發現了鈾與其他像是銫與鍶的放射性物質。國際研究人員的一項新研究發現，這可能意味著放射性落塵的影響將比預期持續的時間更長。該研究小組表示，這次的研究為首次明確的揭露福島第一核電廠核燃料殘骸的放射性落塵，進入周遭環境。

福島事故後，科學家一直在觀察是否有細小的核燃料殘骸碎屑（又稱「細微粒子」）釋出至周遭環境，並發現了從核電廠爐心熔毀期間所釋放嵌入在核燃料中或是被富含銫微粒附著的鈾微粒，而這些微粒子的大小僅有 5 微米甚至更小，比人體頭髮直徑小約 20 倍，代表著這些微粒子是可以被人體吸入的。位在隔離區內的稻田土壤與距離福島第一核電廠幾公里的廢棄水產養殖中心內，均發現了這種燃料碎屑。

早期認為，從受損反應爐中釋放出來的只有可揮發的氣體放射性核種，如銫與碘，然而現在則發現還有細小的固體顆粒，這些固體顆粒中還有一些含有壽命非常長的放射性核種。曼徹斯特大學資深講師、同時也是該篇研究的作者之一的洛博士（Gareth Law）表示，他們的研究強烈建議對福島隔離區內部的燃料殘骸進行更近一步的調查，在隔離區外部也可能有需要。他也補充：「雖然在目前這樣不適合居住的狀態下要進行取樣非常困難，但近一步的研究將對核燃料殘骸微粒的性能變化與影響，有更深的了解。」進行相關研究的日本九州大學副教授宇都宮聰也指出，外釋的粒子可提供與燃料殘骸有關的數據，若對這些粒子有更深入的了解，將對東京電力公司未來的除役策略，提供非常有用的訊息。

與福島電廠核燃料殘骸相關的化學數據，由於電廠內部的高輻射水平，目前仍無法獲得。這次由國際研究小組發現的微粒，將為未來面臨到的除役挑戰，提供重要的線索。

資料來源：

1. Nuclear Engineering International. “Fukushima fallout found in particulate form.”
2. University of Manchester. “New evidence of nuclear fuel releases found at Fukushima.”

俄羅斯浮動式核電廠 **獲准運轉**

文・編輯室

俄羅斯國家專家審查委員會（Glavgosexpertiza）已於最近宣布「羅蒙諾索夫院士號（Akademik Lomonosov）」浮動式核電廠符合其建設標準，批准了這項在俄羅斯最北端城市佩維克（Pevek）的計畫。這部浮動式核電廠是由俄羅斯國家原子能公司（Rosatom）的子公司俄羅斯核電公司（Rosenergoatom）出資建造，目前停泊在聖彼得堡的波羅的海造船廠（Baltiysky Zavod），其中設有兩部 3.5 萬瓩的 KLT-40S 反應爐，與俄羅斯核子動力破冰船中所使用的類似。

俄羅斯國家專家審查委員會在完成審查後得出結論，這座浮動式核電廠的檢測結果符合技術規範與其他規範，工程結果也與設計一致，審查委員會也認定其估算成本合理。

俄羅斯的「聯合能源系統（Unified energy system）」僅覆蓋了國家領土大約 15%，核能的使用是向偏遠地區提供熱能與能源的最佳途徑，而這些偏鄉地區占俄羅斯聯邦約一半的領土。

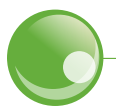
羅蒙諾索夫院士號最初（2007 年 4 月）是在另一座造船廠建造，但由於該造船廠軍用業務過大，導致建設工程轉移至聖彼得堡、有建造破冰船經驗的波羅的海造船廠。完工的船體在 2010 年 6 月下水，船體長、寬分別為 144 與 30 公尺，重達 21,500 噸，並於 2013 年 10 月安裝了兩部 3.5 萬瓩的反應爐，將於今年 10 月完成核燃料裝填，預計明（2019）年 11 月開始試運轉。這部浮動式核電廠主要是為了取代楚科奇（Chukotka）地區的比利比諾（Bilibino）核電廠，該電廠預計於明年關閉首部機組，並於 2021 年整個關閉。



▲羅蒙諾索夫院士號（圖片來源：Rosenergoatom）

資料來源：

World Nuclear News. “Russia's floating power plant meets construction standards.”

美國公用事業管制協會呼籲
重啟雅卡山處置計畫執照審查

文・編輯室


▲雅卡山隧道鑽孔作業，攝於 2013 年（圖片來源：美國能源部 DOE）

在美國聯邦政府通過處置放射性廢棄物所設置的期限至今已過了 20 年，美國公用事業管制協會（National Association of Regulatory Utility Commissioners，NARUC）委員呼籲立法者應支持對雅卡山最終處置場許可申請的審查提供資金。

1982 年通過的《美國放射性廢棄物政策法（Nuclear Waste Policy Act）》，確立了聯邦政府對所有民用用過核燃料的責任，同時也要求政府需在 1998 年之前開始將核子設施內的用過核燃料移出，至一座聯邦設施中做處置，而位於內華達州的雅卡山則在 1987 年被選為處置場唯一場址。美國能源部（DOE）在 2008 年時向核能管制委員會（NRC）提出雅卡山最終處置場建造與運轉執照申請，但美國政府卻在 2009 年、於總統選舉後決定終止這項計畫。

在公共事業管制協會與其他數個單位認為核管會沒有履行法定責任，並向聯邦上訴法院提出上訴後，聯邦上訴法院在 2013 年 8 月命令核管會恢復該項申請的審查作業。

公共事業管制協會表示，美國政府至今無法接收用過核燃料已導致超過 50 億美元由法院裁定的損害賠償，而且需由納稅人來支付，這個數字到 2022 年時將可能超過 290 億美元，2022 年以後每年最高增加 5 億美元。該協會也提到相關立法已有 36 年，政府沒有履行其義務至今已有 20 年的時間，呼籲政府與國會應立即採取行動，重啟雅卡山處置場申請的審查程序。

資料來源：

World Nuclear News. “US commissioners call for action on used fuel.”

瑞典高放廢棄物處置場獲得管制機構正面回覆

文・編輯室

瑞典輻射安全局（SSM）近期在向政府提報最終處置場申請時一同給予了正面的意見，該申請由瑞典核燃料與廢棄物管理公司（SKB）提出，內容除了建造深層地質處置場之外還有一座燃料封裝廠。不過，瑞典斯德哥爾摩土地與環境法院則要求 SKB 就銅製處置容器繳交近一步的補充文件。

瑞典 SKB 公司在 2011 年 3 月時向管制機構 SSM 提出處置場建造執照申請，預計在地下約 500 公尺深處，建造可容納 12,000 噸用過核燃料的瑞典首座深層地質處置場以及一座於地表的用過核燃料封裝廠，同時擴建現有的用過核燃料濕式中期貯存設施（Clab）。該申請已依照《核子活動法》由管制機構審查輻射安全議題，並由土地與環境法院依相關法條來審查環境相關議題，在完成審查後已於今（2018）年 1 月底向政府上呈結論。

管制機構認為，在執照申請的過程中已可證明 SKB 擁有建設符合安全規範處置場的潛力與能力，建議政府可批准此項處置場建設計畫。SKB 對此結果也表示，這是 SKB 在研發用過核燃料處置的過程中，非常重要的一個里程碑，代表著公司近 40 年來對最終處置概念的研發，已可達到非常高的輻射安全標準。不過，在政府做出最終決定前會先徵詢地方意見，因地方政府擁有否決此建設的權利。



▲瑞典用過核燃料最終處置場概念圖（圖片來源：SKB）

然而，瑞典土地與環境法院在審查後則表示，SKB 目前的評估雖然可靠，但以長期來看，用來裝置用過核燃料的處置容器仍存有不確定性，目前安全評估的結果並無法得出該處置場可長久安全無疑地運轉，必須繳交相關補充文件，但法院對於建設封裝廠與擴建濕式貯存設施表示，應可根據《環境法》予以許可。

資料來源：

World Nuclear News. “Swedish repository gets positive regulatory response.”

核能新聞

文‧編輯室

國外新聞

法國管制機構核准處置場安全相關報告

法國核能管制機構（ASN）對法國中高放射性廢棄物深層地質處置場計畫（Cigeo）發表了正面的看法，不過也對處置設施內是否封存瀝青廢棄物保留意見。法國預計在 Bure 附近的地下黏土層中建造隧道處置系統 Cigeo，由生產放射性廢棄物的單位──如法國電力公司（EDF）、亞瑞華（AREVA）與法國低碳能源研究機構（CEA）等出資建設，並由法國放射性廢棄物管理專責機構 Andra 負責管理。Andra 在 2016 年 4 月即向管制機構提交 Cigeo 安全項目（如整體安全目標、概念與原則等）的相關文件，亦請國際原子能總署（IAEA）協助審查，並於去（2017）年 8 月開放民眾諮詢。而管制機構也於最近完成審查，認為 Cigeo 計畫的安全項目從整體來看已達到一個技術成熟的階段。

不過管制機構也表示，Andra 預計於明年提交的建設工程申請，仍有些地方需要補充相關資料，同時也提到 Cigeo 處置場若用來處置瀝青廢棄物可能有火災的風險，而該處置場計畫原先規劃的處置容量中有 18%、約 40,000 個包裝箱是用來處置這種廢棄物。管制機構根據目前的研究結果，表示瀝青廢棄物不適合於 Cigeo 處置場進行處置，也要求對其進行更進一步的研究來找尋適當的管理辦法。

World Nuclear News, 2018/01/15

俄羅斯兩部新建機組將正式開始運轉

俄羅斯位於伏爾加頓斯克（Volgodonsk）附近的羅斯托夫（Rostov）核電廠 4 號機組於今（2018）年 2 月 19 日獲准試運轉，將陸續提升至滿載發電，並在每個階段進行更進一步的測試。俄羅斯在 1980 年代時規劃在羅斯托夫核電廠設立 4 部 100 萬瓩的壓水式反應爐 VVER，1、2 號機組的建設工程也隨即開始，但工程卻在前蘇聯解體、面臨到經濟困難時被凍結，一直到 2001 年和 2010 年才投入商轉，3 號機則於 2015 年併網。而該電廠 4 號機未來將可確保俄羅斯南部地區穩定能源供應，1-3 號機已為該地區提供了超過 4 成的電力，若加上 4 號機將可為當地提供至近 55% 的電力，預計將於不久後投入商轉。

同時，位於索斯諾維博爾（Sosnovy Bor）的列寧格勒（Liningrad）第二核電廠 1 號機組也將開始運轉。俄羅斯核電公司（Rosenergoatom）表示，該部機組已完成所有啟動前的作業，包含達到機組首次臨界並以最小功率運轉，電力公司也完成了數項啟動後的測試。該部機組為第 3+ 代 VVER-1200/491 反應爐，建設工程於 2008 年 10 月開始，預計也將在今年春季投入商轉。

Nuclear Engineering International, 2018/02/23

瑞士貝茲瑙核電廠 1 號機獲准重啟

瑞士 Axpo 電力公司在去（2017）年 12 月提交證明，表示反應爐壓力容器的氧化鋁雜質並不會影響到機組的安全後，已於近期獲得管制機構批准，將恢復貝茲瑙（Beznau）核電廠 1 號機組的運轉。該部機組的反應爐壓力容器製造於 1960 年代，根據當時的生產準則，製造過程中會加入鋁來促進氧的結合。

瑞士聯邦核能安全檢查機構（ENSI）對此表示，如此也代表測試與分析過程均已成功完成，在獲得管制機構允許的情況下，Axpo 公司現在已可證明貝茲瑙 1 號機的反應爐壓力容器符合國內、國際安全規範，先前進行的評估與調查亦證明現有的安全限度可讓機組安全運轉 60 年。該部機組在 2015 年時偵測到反應爐壓力容器基材異常，管制機構對此要求進行進一步的調查，目前 Axpo 公司將逐步恢復該部機組運轉，並在重啟過程中進行大規模的檢測，預計將於一個月內滿載運轉。貝茲瑙核電廠兩部 36.5 萬瓩的反應爐為瑞士最古老的兩部核電機組，分別於 1969 與 1972 年開始運轉，除了生產電力之外還有區域供暖的功能。

World Nuclear News, 2018/03/06

日本重啟大飯核電廠 3 號機

關西電力公司於今（2018）年 3 月中正式重啟位於福井縣的大飯核電廠 3 號機組，該電廠位置與同屬於關西電力公司的高浜核電廠距離不到 15 公里，而高浜核電廠 3、4 號機則是日本目前少數已成功重啟商轉的機組。不過，根據日媒報導，當地居民指出若發生同時影響到高浜與大飯核電廠的事故，相關疏散計畫並不完善，對此表達擔憂。

日本原子力規制委員會（NRA）在去年 5 月通過了大飯 3 號機組的書面安全審查，關西電力公司將商轉目標訂於 4 月初。在 NRA 批准可開始機組加強工程，並進行運轉前檢查以確認安全相關設備符合工程施工計畫後，福井縣知事也同意大飯 3、4 號機組的重啟，大飯 3 號也成為福島事故後日本 42 座機組中第 6 部重啟運轉的機組，其他 5 座分別為九州電力公司的川內核電廠 1、2 號機、四國電力公司的伊方電廠 3 號機，以及關西電力公司的高浜電廠 3、4 號機，另外九州電力公司預計也將於今年重啟佐賀縣的玄海核電廠 3、4 號機組。根據日本最新國家能源政策，2030 財政稅務年的電力配比，核電將占其中的 20-22%。

Nuclear Engineering International, 2018/03/16

美國核電廠首次使用耐事故燃料

位於美國喬治亞州的哈奇（Hatch）核電廠 1 號機組於今（2018）年 2 月初因替換核燃料與檢修而停機，電力公司除了進行維修與檢測之外，還一同替電廠系統與零件進行了改良。在這段期間，電力公司與全球核燃料公司（GNF）合作，於該部機組內裝填為耐事故核燃料的鉛製測試燃料束，並於 3 月 4 日重啟機組運轉，預計可以使用一年的時間。

全球核燃料公司表示，這種燃料束使用鐵鉻鋁（又稱作「裝甲，IronClad」）或是鋯塗層（又稱作「盔甲，ARMOR」）來當作燃料棒的包覆材料。這種燃料束的設計是為了在各種情況下仍保有良好的抗氧化與活性，在高溫下的低氧化速率將可近一步提高安全標準。「裝甲」燃料束也是美國能源部（DOE）發展「增強型耐事故燃料計畫（Enhanced Accident-tolerant Fuel Programme）」所開發的首個項

目，而且可以安裝在商用反應爐中。而美國另一座核電廠克林頓（Clinton）預計也將在 2019 年使用這種燃料束來發電。

World Nuclear News, 2018/03/07

英國核工業在脫歐後將面臨到挑戰

英國上議院歐盟能源與環境小組委員會在今（2018）年 1 月底發布的「英國脫歐：能源安全，關注能源供應、消費成本與減碳」報告中提到，英國的核電產業在國家脫歐的情況下將面臨到特殊的挑戰。委員會在進行相關調查時聽聞，英國未來新建核電廠的能力，在接觸歐盟專業人員的機會減少後將受到質疑；此外，若英國在脫歐之前未能找到替代歐盟原子能聯盟（Euratom）的供應市場，將可能導致英國無法進口任何核子原料。委員會表示，核電廠不僅替英國提供了大量的低碳電力，不間斷的生產電力有助於平衡較難預測的再生能源，並為英國實現其低碳化的目標提供更進一步的援助。

另外一個問題則是能源保防問題，歐盟原子能聯盟替英國 100 多部核子設施進行安全檢查，為了維持能源安全，必須在英國離開歐盟原子能聯盟前建立符合國際原子能總署（IAEA）的國內安全防護制度。報告指出，英國政府與核能管制機構（ONR）也意識到建立該制度的急迫性，也需要確保英國遵守對 IAEA 的義務，而管制機構在招募與培訓檢查人員也將面臨困境。加入歐盟原子能聯盟為與歐盟在核能研究與發展方面維持合作的一種方式，這份報告也提到，英國脫歐將替國家能源安全帶來嚴重的影響。

Nuclear Engineering International, 2018/02/02

20 年後中國將超越美國成為全球最大核電國家

國際能源署（IEA）署長比羅爾（Fatih Birol）日前出席 2018 年倫敦國際石油週會議，對美國、歐洲於核能發電的投資不足、未來將遭中國大幅超越，表達擔憂：「全球今日有約 60 部機組在建設當中，其中有 1/3 位於中國，中國核工業快速發展，未來將取代美國成為全球最大核電使用國家。」比羅爾也指出，美國自 1960 年代起即成為全球核能領域的領導者，但目前有兩大趨勢有可能讓美國失去這一領先優勢：核電裝置容量增加非常有限，以及現有核電廠並無延役的計畫。而這個現象在歐洲也可以看到，擁有 58 部機組商轉中的核電大國法國，這幾年核能發電的產量也大幅降低。比羅爾表示，如果這個情況仍沒有改善，未來核電占美國國家電力供給比例將從 20% 掉落至 7%，預計中國也將於 2030 年前超越美國成為世界最大核能發電國家。

美國目前擁有 99 部機組商轉中，中國僅有 39 部，但是建造中的機組只有 2 部而中國有 18 部。根據國際能源署最近的報導，中國 2016 年的核電裝置容量為 3,400 萬瓩，若中國持續以如此趨勢、搭配其「能源革命」來降低潔淨能源技術的成本，在 2030 年的裝置容量將有可能驟升至 1.11 億瓩，以及 2040 年的 1.45 億瓩。這份報導也提到，中國如此看重潔淨能源技術，最主要的原因為空氣品質長期低下，未來中國也將躍升至全球於核能、風力、太陽能與電動車等領域的領導位置。

Nucnet, 2018/02/22

台電離岸風電第一期計畫目標 2020 年底併聯發電

台灣海峽是全球最佳風場之一，尤其彰化外海匯集本島最大風能，台電第一期離岸風電計畫將在此豎立 21 架風機向海風借電，總裝置容量 10.92 萬瓩，年發電量超過 3.6 億度，可供給近 9 萬家戶一年用電，本計畫於 2 月 13 日順利決標，由比利時商楊德諾與日商日立共同承攬，決標金額 249.9 億元，目標於 2020 年底併聯發電。

決標後楊德諾及日立預定於今年進行風機設置的海域調查、地質鑽探及細部設計作業，明年從事下部結構、風力發電機等製造，預計 2020 年執行基礎打樁及風力發電機組安裝。

本刊訊，2018/02/13



▲ 台電第一期離岸風電計畫將在彰化外海豎立 21 架風機。



▲ 台電彰濱太陽光電工程。

台電彰濱太陽光電工程動土 年發 1.3 億度電

台電 2 月 8 日舉辦彰濱太陽光電工程動土典禮，台電表示，首次攜手中華電信將利用彰濱占地 140 公頃、近 28 座棒球場大小的場址，投入 62 億元打造全國最大、世界排名第 54、裝置容量 10 萬瓩的太陽光電場，裝置容量、投資金額與發電量皆全國第一，完工後一年可發電 1.3 億度，提供超過 3 萬個家庭用戶一整年的用電量，台電力拚今年底發電。

台電說明，彰化平均每天可發電的日照時數約 3.54 小時，去年一年全縣太陽光電發電量超過 2 億度，占全台太陽光電發電量約 15%。彰濱光電所在地共約 152 公頃，其中 140 公頃用地將以 33 萬 9 千片太陽能板打造全國最大的 10 萬瓩光電場，剩下約 10 公頃土地將用來興建未來離岸風力發電在上岸後，要併入全國電網的併網升壓站設備。而台電也將結合中華電信的資通訊及物聯網專長，未來透過雲端智慧平台即時監控發電狀態。

本刊訊，2018/02/08

什麼是「放射性」和「輻射」㊆

文・朱鐵吉



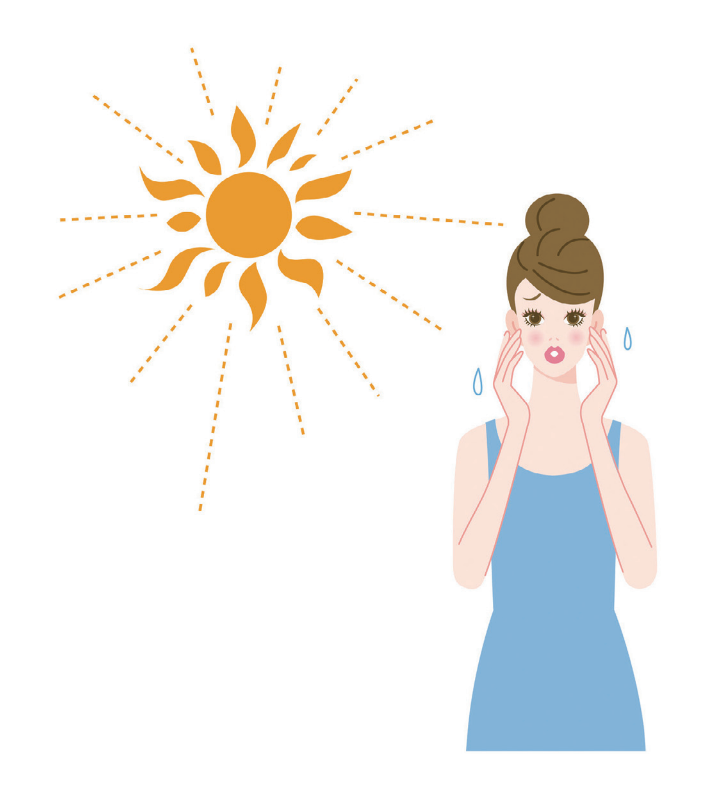
Q18 輻射是什麼時候發現的？

A 輻射有許多種，若追溯其發現的歷史，首先是 1895 年侖琴發現了 X 射線，第 2 年貝克勒爾發現了鈾的放射性。1898 居里夫婦發現了鐳和釙的放射性，1902 年拉塞福等人相繼發現 α 射線、β 射線和 γ 射線。

首先侖琴在用玻璃製的放電管研究陰極射線（管內的電子流）時，偶然發現從管內放射出一種眼睛看不見、但卻具有貫穿力的不透明體（例如人的手），一種強穿透力和電磁波的東西。它比紫外線的穿透力又強得很多，覺得非常莫名其妙，不知是何物。於是把這種未知的和光一樣的東西命名叫做「X」射線。

隨後，他還了解到 X 射線除了有強穿透力（穿透作用）之外，當它照射物質時，還具有使組成物質的原子、分子游離（游離作用），或受熱作用、螢光作用和膠片感光作用等。

接著，貝克勒爾也很幸運，1896 年在他選用鈾作為螢光體進行螢光研究時，發覺雖然螢光體未受到外來光線的照射，但由鈾本身自然地放射出穿透力比 X 射線更強得多的射線，這就是歷史上第一



次發現的放射性現象。

之後，居里夫人發現了放射性比鈾強得多的新元素鐳（Ra）和釙（Po）。於是把放射輻射的性質或能力稱為放射性（radioactivity），把具有放射性的元素，即放射出輻射的元素定義為放射性同位素（radioisotope）。

以後拉塞福等人也參與研究，探討出放射性物質放射出的輻射有 α 射線、β 射線和 γ 射線 3 種。圖 1 表明了 α 射線在磁場中向一方彎曲，β 射線則向另一個方向作更大的彎曲，γ 射線則不受磁場的影響而直線前進。磁場對射線路徑的影響在當時已經明白了。根據「左手定則」從圖上很容易辨別出來。

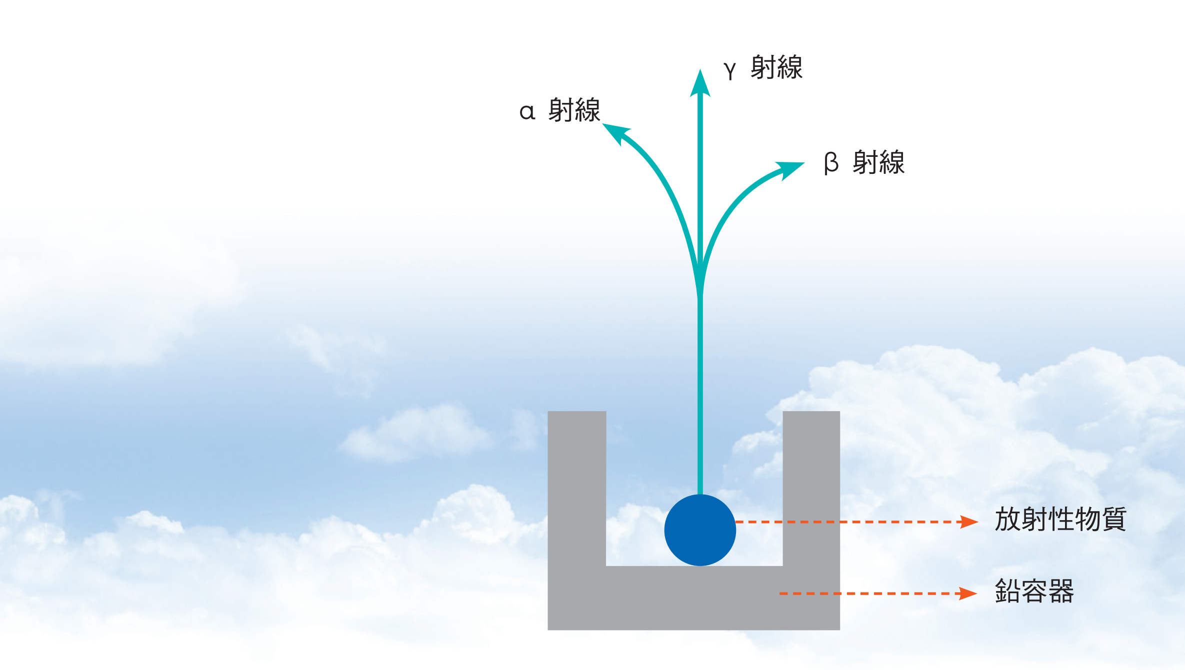


圖 1. 受到磁場影響的 α 與 β 射線的偏轉情形，γ 射線則不受磁場影響而直線通過。



A 前面講過輻射有多種作用，但這些作用都可以歸根為游離作用。游離作用是輻射的本質作用，所以，輻射可以理解為游離輻射。

發現 X 射線及 α、β、γ 射線之後，由於原子物理學的迅速發展，發現了中子，隨後又發現了介子、氘核以及各種帶電重粒子等。現在這些粒子都屬於不同種類的射線。表 1 列出了一些主要類型的輻射。輻射可以分為電磁輻射和粒子輻射（帶電粒子輻射、中子輻射）兩大類。

- 電磁輻射的種類

電磁波是指電波（廣播及通信波）、紅外線、光（可見光）、紫外線、X 射線和 γ 射線的總稱，圖 2 按頻率大小的順序列出了各種電磁波。可見光只不過是電磁波中頻率範圍很窄的一段。比可見光的頻率低的紅外線是不可見的電磁

表 1. 輻射的種類

	種類	符號	電荷	質量數
電磁輻射	X 射線	X	0	-
	γ 射線	γ	0	-
	α 射線	α	+2	4
	β 射線	β^-	-1	-
	電子	e^-	-1	-
	正子	β^+	+1	-
粒子輻射	質子	p	+1	1
	氘核	d	+1	2
	重離子		+1 以上	9 以上
	介子	π，μ	±1,0	e^- 與 p 之間
	分裂碎片		+20~22e	72~161
	中子	n	0	1

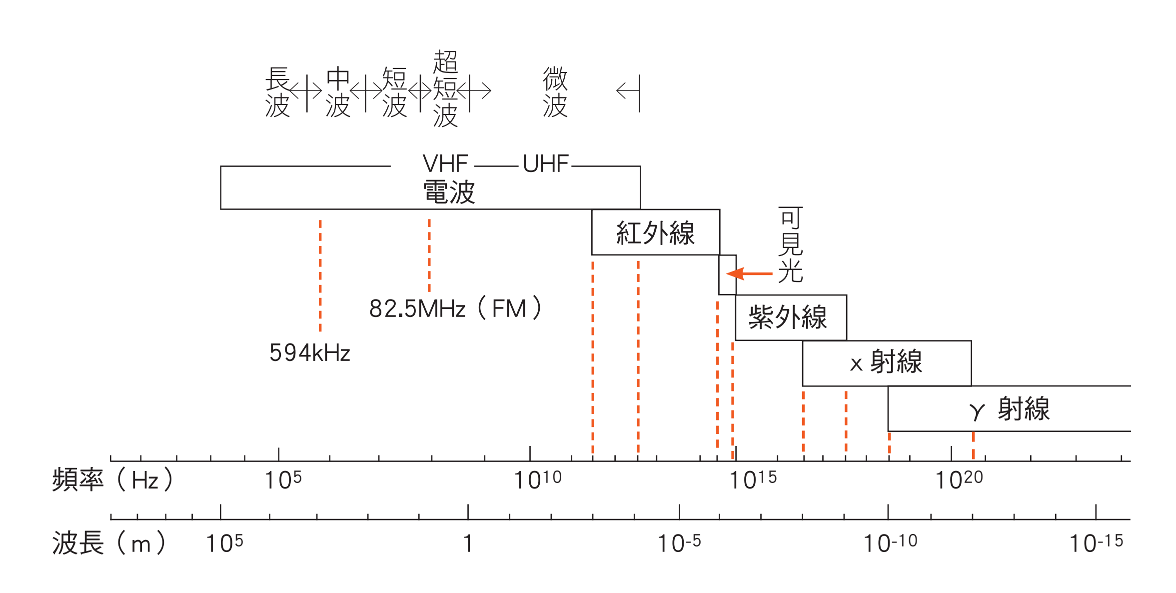


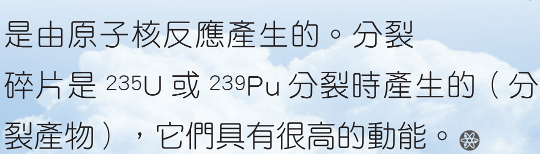
圖 2. 電磁波的種類與頻率的關係

波，但可以使皮膚感到溫暖。而比可見光的頻率高的紫外線也是看不見的，但它能使皮膚曬黑並有殺菌作用。電磁波中能量高的、具有游離作用的 X 射線和 γ 射線稱為電磁輻射。

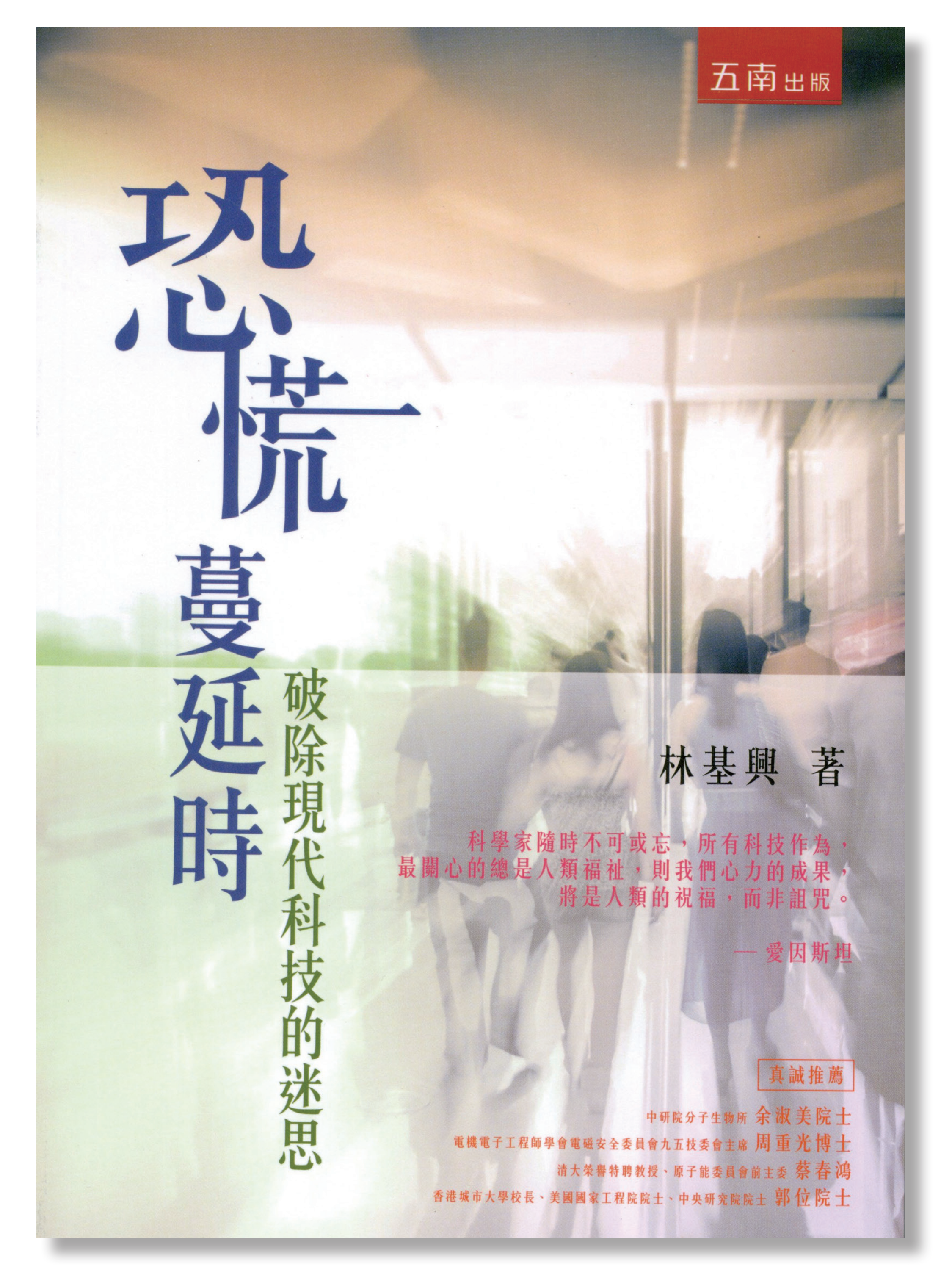
• **粒子輻射的種類**

粒子輻射有許多種類，如表 1 所示。電子輻射是一種人造輻射，是用電子加速器（裝置）在高電壓下加速電子而產生的。正子是帶正電荷的電子，在 β^{+} 衰變時放射出正子。正子輻射也是一種人造輻射，用迴旋加速器或是粒子（離子）加速器，在高電壓下加速正子而產生。

氘核是重氫的原子核，由 1 個質子和 1 個中子組成。重離子是比鋰原子重的離子的總稱，均可用離子加速器產生，介子則是由原子核反應產生的。分裂碎片是 ^{235}U 或 ^{239}Pu 分裂時產生的（分裂產物），它們具有很高的動能。



（本文作者為清華大學原子科學系榮譽退休教授）



推薦序：蔡春鴻教授（清大榮譽特聘教授、原子能委員會前主委）、郭位校長（香港城市大學校長、美國國家工程院院士）等。

作者林基興博士，曾任公益《科學月刊》社理事長，致力於科學教育與提升社會科學水準，受世界衛生組織主席推薦到《自然（Nature）》「挺身維護科學獎」。當前，台灣深受「核能輻射」等科技爭議之苦，《恐慌蔓延時》一書，以最佳科學證據解釋當前科技與社會問題，尤其核能輻射，也析論推波助瀾的民代、媒體、環團。作者以科學證據與人文關懷，希望有助於「個人健康、社會和諧、國家進步」。